



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.





800016360L



E. BIBL. RADCL

~~5. 18. 186~~



1984

d.

$\frac{60}{1}$



OXFORD MUSEUM
LIBRARY AND READING-ROOM.

THIS Book belongs to the Student's
Library.

It may not be removed from the
Reading Room without permission
of the Librarian.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

LEHRBUCH
DER
PHYSIK UND METEOROLOGIE.

THEILWEISE NACH
POUILLET'S LEHRBUCH DER PHYSIK
SELBSTÄNDIG BEARBEITET

VON

DR. JOH. MÜLLER,

**Grossh. badisch. Hofrath und Ritter des Zähringer Löwenordens, Professor der Physik
an der Universität zu Freiburg im Breisgau, der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft
Ehrenmitglied und correspondirendes Mitglied mehrerer andern gelehrten
Gesellschaften.**

DRITTER BAND.
KOSMISCHE PHYSIK.

D R I T T E
UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1 8 7 2.

LEHRBUCH

DER

KOSMISCHEN PHYSIK.

VON

DR. JOH. MÜLLER,

Grossh. badisch. Hofrath und Ritter des Zähringer Löwenordens, Professor der Physik
an der Universität zu Freiburg im Breisgau, der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft
Ehrenmitglied und correspondirendes Mitglied mehrerer andern gelehrten
Gesellschaften.

DRITTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE.

MIT 385 IN DEN TEXT KINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN UND 25
DEM TEXTE BEIGEgebenen, SOWIE EINEM ATLAS VON 40 ZUM THEIL IN
FARBENDRUCK AUSGEFÜHRTEN TAFELN.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1872.

**Die Herausgabe einer Uebersetzung in französischer und englischer Sprache,
sowie in anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.**

VORREDE ZUR ERSTEN AUFLAGE.

Wie überhaupt die Naturwissenschaften zu den wichtigsten Factoren der geistigen Entwicklung des Menschengeschlechtes gehören, so ist namentlich das Studium der kosmischen Erscheinungen geeignet, allgemeine Bildung zu fördern, geistige Belebung und Veredlung zu vermitteln. Es ist deshalb erfreulich, dass nicht allein der Sinn für einen edleren geistigen Naturgenuss sich mehr und mehr verbreitet, sondern dass auch, trotz so mancher Anfeindungen und Verdächtigungen, welche in neuester Zeit gegen die Naturwissenschaften und gegen den naturwissenschaftlichen Unterricht laut wurden, das Streben, sich von den Gesetzen zu unterrichten, welche die ganze Schöpfung beherrschen, mehr und mehr aus dem engeren Kreise der Fachgelehrten heraustritt, dass man, und zwar mit Recht von den Gebildeten aller Stände eine Bekanntschaft mit den bedeutenden Resultaten der Naturforschung sowohl als auch mit dem Geiste derselben verlangt.

In Deutschland ist es vorzugsweise Alexander von Humboldt, welcher durch seine geistreichen Schriften die allgemeine Aufmerksamkeit auf die kosmischen Erscheinungen gelenkt und den Sinn für deren Studium geweckt und belebt hat; sein „Kosmos“ namentlich hat einen ganz neuen Schwung in diesen Zweig unserer Literatur gebracht. — So mannigfaltig aber auch der Gegenstand jenes classischen Werkes behandelt worden ist, so fehlt es doch noch an einem Werke, in welchem die Physik des Himmels und der Erdkugel in Form eines Lehrbuches systematisch zusammengestellt ist, an einem Werke, welches ausser der Astronomie, für welche es freilich nicht an trefflichen, mehr oder weni-

ger populär gehaltenen Lehrbüchern fehlt, in gleicher Weise auch noch physikalische Geographie und Meteorologie umfasst.

Diese Lücke auszufüllen ist der Zweck des vorliegenden „Lehrbuchs der kosmischen Physik“, welches ich insofern als ein populäres Werk bezeichnen muss, als dasselbe nur elementare Vorkenntnisse voraussetzt, und als alle in demselben vorkommenden mathematischen Entwicklungen nicht über das Bereich der Elementar-Mathematik hinausgehen. Der Standpunkt des Lesers, welcher in demselben vorausgesetzt wird, ist derselbe, welchen ich bei Abfassung meines grösseren Lehrbuches der Physik im Auge hatte, und ich habe hier wie dort im Wesentlichen dieselbe Entwicklungsmethode, dieselbe Darstellungsweise befolgt.

Um den Umfang dieses Buches nicht unnöthig auszudehnen, habe ich die wenigen zum Verständnisse nothwendigen mathematischen und physikalischen Vorkenntnisse nicht in dem Werke selbst entwickelt, wie dies bei den meisten Lehrbüchern der Astronomie gebräuchlich ist, sondern auf die entsprechenden Stellen mathematischer und physikalischer Lehrbücher verwiesen*). Solche Vorkenntnisse bringen wohl die meisten Leser schon aus einem guten Schulunterrichte mit; für den Fall aber, dass denselben das Eine oder das Andere entfallen, dass ihnen die mathematischen Sätze und physikalischen Thatsachen, von welchen gerade Gebrauch gemacht werden soll, nicht mehr in ihrem Zusammenhange gegenwärtig sein sollten, ist es doch wohl besser, sich aus selbstständigen Lehrbüchern der fraglichen Hülfswissenschaften Rath zu erholen, als sich mit nothdürftigen Schaltcapiteln zu behelfen, die ihren Zweck doch nur höchst unvollständig erfüllen.

Wenn das Studium der Disciplinen, welche in dem vorliegenden Werke vorgetragen werden, auch allgemein geistbildend wirken soll, so genügt es nicht, den strebsamen Leser mit den Resultaten der wissenschaftlichen Forschung bekannt zu machen, ihm die Gesetze darzulegen, welche durch den Fleiss und den Scharfsinn der Astronomen und Naturforscher nachgewiesen worden sind; man muss ihm auch den Zusammenhang zwischen der unmittelbaren Anschauung und den Gesetzen zeigen, welche aus den Beobachtungen abgeleitet

*) Die Citate beziehen sich, wo nicht andere Werke namentlich angegeben sind, auf die siebente Auflage meines „Lehrbuchs der Physik und Meteorologie“, Braunschweig 1868, und auf meine „Elemente der ebenen und sphärischen Trigonometrie“, Braunschweig 1859, in welchen der Leser auf wenigen Bogen die Grundzüge dieser wichtigen Disciplinen leicht fasslich entwickelt findet.

worden sind; der Leser muss eine Einsicht in die Art und Weise erlangen, wie die Gesetze entwickelt werden, damit er einen Maassstab habe für die Würdigung derselben, damit er das fest begründete Gesetz unterscheiden lerne von der schwankenden Hypothese, das Nothwendige von dem Willkürlichen, die Thatsache von der Vorstellung; selbst auch populäre Schriften (im besseren Sinne des Wortes) müssen den Leser in den Geist der wahren naturwissenschaftlichen inductiven Methode einführen. Es war mein eifrigstes Streben, bei Abfassung der vorliegenden „kosmischen Physik“ diese Aufgabe nach Kräften zu lösen.

Am schwierigsten ist die elementare Behandlung im astronomischen Theile durchzuführen. Hier nun war ich bemüht, soweit als möglich den Gang der Erscheinungen durch Beispiele zu erläutern, welche entweder von wirklich angestellten Beobachtungen, oder aus astronomischen Jahrbüchern entnommen sind, weil an concreten Beispielen am leichtesten eine lebendige und klare Anschauung gewonnen wird. Da wo allgemeine Entwicklungen die Kräfte der Elementar-Mathematik überschritten haben würden, habe ich, wenigstens für specielle Fälle, durch numerische Berechnungen den Zusammenhang verständlich zu machen gesucht.

Da sich der naturwissenschaftliche Unterricht vor allen Dingen auf Anschauung gründen muss, da namentlich in Werken, welche auch zum Selbstunterrichte dienen sollen, dieser Punkt ganz besonders zu berücksichtigen ist, so habe ich auf die Abbildungen eine ganz besondere Aufmerksamkeit und Mühe verwendet, und die Verlagshandlung hat keine Opfer gescheut, dies Bestreben in jeder Beziehung auf das Kräftigste zu unterstützen, wie schon ein oberflächlicher Anblick der in den Text eingedruckten Holzschnitte sowohl, als auch der zu einem Atlas verbundenen Stahlstiche zeigt. Für schwierig zu zeichnende Apparate habe ich mit Erfolg die Photographie in Anwendung gebracht. — Auf den Karten des Atlases habe ich möglichst jede Ueberladung auf einem Blatte zu vermeiden gesucht. Weil das Bild des gestirnten Himmels durch Begränzung der Sternbilder und durch Eintragen der Namen gestört wird, so sind in dem Atlas zweierlei Sternkarten gegeben; einmal solche, welche das Bild des gestirnten Himmels möglichst treu wiedergeben, und dann solche, in welchen man die Abtheilung der Sternbilder, die Namen u. s. w. findet. Auf einer besonderen Tafel sind die wahren Bahnen der unteren, auf einer anderen die wahren Bahnen der oberen Planeten gegeben, und den Kometenbahnen sind zwei Tafeln gewidmet, weil die Vereinigung aller Planetenbahnen sammt

den Bahnen der wiederkehrenden Kometen auf einer Tafel alle Uebersichtlichkeit gestört haben würde. Ebenso habe ich lieber die Anzahl der Erdkarten vermehrt und auf jede derselben immer nur ein einziges Curvensystem aufgetragen, damit dasselbe dem Leser auf den ersten Blick klar und verständlich sei, und er nicht nöthig habe, mit Mühe den Verlauf einer Linie in dem Chaos anderer Curven zu verfolgen, wie es unvermeidlich ist, wenn man mehrere Curvensysteme auf derselben Tafel vereinigt.

Die zahlreichen Abbildungen aller Art tragen so sehr zum leichteren Verständniss der vorgetragenen Materien bei, sie erleichtern so sehr das Studium derselben, und sind deshalb auch so sehr im Interesse des Lesers, dass von dieser Seite wohl schwerlich der Vorwurf eines unnöthigen Luxus zu fürchten ist.

Da ein Werk wie das vorliegende nicht allein zur Lectüre, sondern auch zum Nachschlagen dienen soll, so muss man es dem Leser möglichst erleichtern, sich darin zurecht zu finden. Ich habe deshalb dem Buche zwei Register beigegeben, ein systematisches, aus welchem man die Ordnung übersehen kann, in welcher die einzelnen Materien behandelt worden sind, und ein alphabetisches, aus welchem man erfährt, wo man nachzuschlagen hat, um über bestimmte Gegenstände Auskunft zu erhalten.

Ich habe das Buch mit Fleiss und Sorgfalt, mit Lust und Liebe ausgearbeitet. Möge es dazu beitragen, den Naturwissenschaften Freunde zu gewinnen und all das Gute zu fördern, was mit ihrer Cultur und Verbreitung verbunden ist.

Freiburg, im Januar 1856.

Dr. J. Müller.

VORREDE ZUR DRITTEN AUFLAGE.

Selten sind wohl in einem Zweige der Wissenschaft in wenigen Jahren so riesenhafte Fortschritte gemacht worden, wie in einigen der Disciplinen, welche in der kosmischen Physik behandelt werden. Voran steht hier vor allen Dingen die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Himmelskörper. Hatte die genaue Beobachtung der Doppelsterne den Beweis geliefert, dass das Gesetz der allgemeinen Schwere nicht allein unser Planetensystem beherrscht, sondern dass es auch in den fernsten Räumen des Weltalls seine volle Geltung hat, so lehrt uns nun die Spectralanalyse der Himmelskörper, dass wir dieselben Stoffe, welche unsere Erde bilden, auch auf der Sonne, den Fixsternen und in den Nebelflecken wiederfinden, kurz die prismatische Zerlegung des Lichtes, welches die fernsten Himmelskörper uns zusenden, hat uns die wichtigsten, vor wenigen Jahren noch nicht geahnten Aufschlüsse über die physische Beschaffenheit derselben gegeben.

Von allen diesen Dingen war in der zweiten Auflage des vorliegenden Werkes noch keine Rede, kein Wunder also, wenn das zweite Buch desselben, in welchem die kosmischen und atmosphärischen Lichterscheinungen behandelt werden, auf mehr als das Doppelte seines früheren Umfangs angewachsen ist. Jedenfalls hat das zweite Buch die wesentlichsten Bereicherungen erfahren und zwar nicht allein durch die neueren optisch-astronomischen Entdeckungen, sondern auch dadurch, dass mehrere atmosphärische Lichterscheinungen, welche in den älteren Auflagen allzu flüchtig berührt waren, wie z. B. die Luftspiegelung, die Sonnen- und Mondhöfe, die secundären Regenbogen u. s. w., jetzt ausführlicher behandelt worden sind.

Angenommen die im ersten Buche behandelte Lehre von den Bewegungsgesetzen der Himmelskörper zu der am meisten abgeschlossenen Disciplin der kosmischen Physik gehört, so hat das erste Buch schon dadurch eine reichliche Bereicherung erfahren, dass es in dem ersten Jahre gelungen ist die Bahn der Meteorite im Weltraum zu verfolgen und damit den Nachweis zu liefern, dass sie nicht in unserem Planetensystem entstanden, sondern dass sie als Fremdkörper von Aussen her in dasselbe eingebracht sind. In Folge dessen musste denn auch der Besprechung der Meteorite eine weitere Stelle angewiesen werden als in der vorigen Auflage, in welcher nur Vorschläge zur kurz behandelt worden waren.

Außer zahlreichen formellen Verbesserungen welche das erste Buch erfahren hat, war ich auch bemüht, dem Leser die nächsten Beobachtungspunkte der mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Planeten vorzuführen, um ihm die Beobachtung derselben zu erleichtern. Besonders ausführlich ist die Oppositionsperiode des Mars im Jahre 1871 behandelt, in der Erwartung, dass die Publication des Werkes noch vor Eintritt derselben erfolgen werde. Leider ist durch verschiedene Umstände, namentlich auch durch den nun rühmlich und glücklich beendeten Krieg, das Erscheinen der neuen Auflage so weit verzögert worden, dass der 46te Paragraph nicht mehr bevorstehende, sondern zum grossen Theil bereits vorüber gegangene Erscheinungen berichtet.

Die Beschreibung der Mondoberfläche wird durch eine wohlgegelungene verkleinerte Copie der Rutherford'schen Mondphotographie erläutert, welche ohne Zweifel für viele Leser eine willkommene Bereicherung des Atlases bildet.

Dass auch das dritte Buch, welches die calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre behandelt, nicht unerhebliche Bereicherungen und Verbesserungen erfahren hat, dürfte schon daraus hervorgehen, dass sein Umfang von nicht ganz 11 Bogen auf 16 Bogen gewachsen ist. Die meteorologischen Instrumente sind eingehender behandelt worden als früher, und auch einige der einfachsten und zweckmässigsten registrirenden Instrumente sind abgebildet und näher beschrieben worden. — Die Erklärung der Gletscherphänomene ist durch die Untersuchungen über Regelation bedeutend gefördert worden. Ueber den Föhn, welcher in der zweiten Auflage nur flüchtig erwähnt wurde, ist durch mehrfache neuere Untersuchungen und Discussionen ein neues Licht verbreitet worden, in Folge dessen ihm eine eingehendere Besprechung gewidmet werden musste.

Die Paragraphen über telegraphische Witterungsberichte und Sturmwarnungen sind ganz neu hinzugekommen. Kurz, auch im dritten Buche wird kaum eine Parthie zu finden sein, welche nicht eine wesentliche Umgestaltung erfahren hätte.

Den räthselhaftesten Theil der Meteorologie bilden noch immer die elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre, deren Erforschung auch in der neuesten Zeit keine namhaften Fortschritte gemacht hat; dessen ungeachtet ist auch das vierte und letzte Buch unseres Werkes nicht ohne Zusätze und Verbesserungen geblieben.

In der ersten und zweiten Auflage der kosmischen Physik waren sämtliche Holzstiche, also auch diejenigen in den Text eingedruckt worden, welche weiss auf schwarzem Grunde ausgeführt sind. So präcis nun auch der Stich dieser Figuren, so sauber auch ihr Druck sein mag, so machten sie sich doch auf der Rückseite des Blattes auf eine um so unangenehmere Weise bemerkbar, je grösser sie waren, namentlich also bei mehreren Sternkarten, welche eine ganze Octavseite ausfüllen. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, sind in der neuen Auflage die schwarzen Figuren meist aus dem Texte entfernt und auf besondere Octavblätter verwiesen worden, welche zum Unterschied von den Tafeln des Atlases mit arabischen Ziffern numerirt wurden. Die Anzahl dieser Octavtafeln, unter welchen sich auch zwei in Farbendruck ausgeführte befinden, nämlich eine astronomische Spectraltafel und eine Abbildung von Sonnenprotuberanzen, ist auf 25 gestiegen.

Wenn der Umfang unseres Lehrbuches der kosmischen Physik nicht unerheblich gewachsen ist, so ist damit doch die Tendenz des Werkes in keiner Weise geändert worden. Seine Ausdehnung wurde vorzugsweise durch die neuen Entdeckungen des letzten Jahrzehnts bedingt. Während diese neuen Errungenschaften in Specialwerken zum Theil vortrefflich behandelt worden sind, so findet der Leser sie doch hier zum ersten Male in übersichtlicher Form zusammengestellt und in den Rahmen eines Lehrbuches eingepasst.

Freiburg, im August 1871.

Dr. J. Müller.

INHALTSVERZEICHNISS.

	Seite
Einleitung	1

Erstes Buch.

Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Erstes Capitel.

Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

1. Das Himmelsgewölbe	5
2. Tägliche Bewegung der Gestirne	7
3. Sternzeit	10
4. Sternbilder	11
5. Bezeichnung der einzelnen Sterne	13
6. Orientirung am Himmel	15
7. Höhe und Azimut	17
8. Bestimmung des Meridians	19
9. Das Theodolit	21
10. Bestimmung der Mittagslinie mit Hülfe des Theodolits	24
11. Theodolit mit gebrochenem Fernrohr	26
12. Declination, Stundenwinkel und Rectascension	28
13. Mittagsrohr und Mittagskreis	33
14. Das Aequatorealinstrument	39

Zweites Capitel.

Gestalt, Grösse und Axendrehung der Erde.

15. Krümmung der Erdoberfläche	46
16. Bestimmung der Kugelgestalt durch astronomische Beobachtungen	51
17. Geographische Länge und Breite	54
18. Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes	56
19. Bestimmung der geographischen Länge	57
20. Abplattung der Erde	60
21. Gradmessungen	62
22. Axendrehung der Erde	65
23. Foucault's Pendelversuch	69

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

	Seite
24. Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe	77
25. Pol der Ekliptik, Länge und Breite am Himmel	80
26. Der Thierkreis	82
27. Wahre und mittlere Sonnenzeit	83
28. Anblick des Himmels in den Nachtstunden verschiedener Monate .	86
29. Bestimmung des Stundenwinkels eines Sternes für einen gegebenen Augenblick	87
30. Zeitbestimmung durch Culminationsbeobachtungen	88
31. Zeitbestimmung durch correspondirende Höhen	90
32. Zeitbestimmung durch einfache Sonnenhöhen	90
33. Die Sonnenuhr	94
34. Bestimmung des Frühlingspunktes	95
35. Der Kalender	96
36. Rückgang der Aequinoctialpunkte	97
37. Nutation	99
38. Erklärung der scheinbaren Bewegung der Sonne	100
39. Jährliche Bewegung der Erde um die Sonne	105
40. Eintheilung der Erde in fünf Zonen	108
41. Tagesdauer an verschiedenen Orten und in verschiedenen Jahreszeiten	110
42. Wahre Gestalt der Erdbahn	114
43. Entfernung der Sonne von der Erde	116
44. Dimensionen der Sonne	119

Viertes Capitel.

Die Planeten.

45. Scheinbare Bewegung der Planeten	121
46. Die scheinbare Bahn des Mars während seiner nächsten Oppositionsperiode	124
47. Veränderlichkeit im Glanz und der Grösse der Planeten	127
48. Das Ptolemäische Planetensystem	128
49. Das Copernicanische Planetensystem	131
50. Erklärung der Rückläufigkeit nach dem Copernicanischen System .	133
51. Construction der scheinbaren Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System	134
52. Modell zur Erklärung des Planetenlaufs	138
53. Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System .	139
54. Die Kepler'schen Gesetze	144
55. Mercur	146
56. Venus	147
57. Die nächsten Erscheinungen der Venus	152
58. Mars	153
59. Jupiter	154
60. Die nächsten Sichtbarkeitsperioden des Jupiter	155
61. Saturn	157
62. Die nächsten Oppositionsperioden des Saturn	158
63. Uranus	159
64. Die kleinen Planeten	160
65. Neptun	163

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

	Seite
66. Die Trabanten	165
67. Scheinbare Bahn des Mondes	165
68. Phasen des Mondes	166
69. Gestalt der Mondbahn	169
70. Sternbedeckungen	171
71. Parallaxe, Entfernung und Grösse des Mondes	172
72. Bahn des Mondes im Sonnensystem	174
73. Mondfinsternisse	176
74. Die nächsten Mondfinsternisse	181
75. Sonnenfinsternisse	183
76. Die nächsten Sonnenfinsternisse	187
77. Axendrehung des Mondes	187
78. Libration des Mondes	189
79. Die Oberfläche des Mondes	191
80. Darstellungen der Mondoberfläche	194
81. Die Trabanten des Jupiter	197
82. Die Trabanten der äussersten Planeten	201

Sechstes Capitel.

Die Kometen und Meteorite.

83. Eigenthümlichkeiten der Kometen	203
84. Scheinbare Bahn der Kometen	206
85. Der Donati'sche Komet	208
86. Die Ausströmungen der Kometen	210
87. Wahre Gestalt der Kometenbahnen	214
88. Wiederkehrende Kometen	220
89. Die Meteorite	223
90. Ursprung der Meteorite	224
91. Beschaffenheit der Meteorite	226
92. Feuerkugeln	228
93. Höhe, Geschwindigkeit und Grösse der Feuerkugeln	230
94. Kosmische Geschwindigkeit der Meteorite	232
95. Die Lichterscheinung der Meteorite	236
96. Sternschnuppen	239
97. Die periodischen Sternschnuppenfälle	240
97. Die Bahnen der Meteorite im Weltraume	244

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

98. Mechanische Erklärung der Planetenbewegung durch Newton	249
99. Die Planeten werden durch Centralkräfte angetrieben	250
100. Abnahme der Centralkraft mit wachsender Entfernung von der Sonne	251
101. Die allgemeine Schwere	254
102. Masse der Sonne und der Planeten	257
103. Dichtigkeit der Erde	259

	Seite
104. Anwendung der Drehwage zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde	261
105. Dichtigkeit der Weltkörper verglichen mit der des Wassers	266
106. Grösse der Schwerkraft auf der Oberfläche der Sonne und der Planeten	267
107. Die Störungen	268
108. Entdeckung des Neptun	270
109. Störungen der Kometen	271
110. Störungen der Mondsbahn	272
111. Ebbe und Fluth	274
112. Mechanische Erklärung der Ebbe und Fluth	276
113. Erklärung der Präcession	279

Achstes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

114. Fortschreitende Bewegung einzelner Sterne am Fixsternhimmel . .	283
115. Jährliche Parallaxe der Fixsterne	284
116. Grösse der jährlichen Parallaxe und Entfernung der Fixsterne . . .	285
117. Doppelsterne	289
118. Fortschreiten unseres ganzen Planetensystems im Weltraume . . .	291

Zweites Buch.

Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

119. Sonnenflecken	295
120. Die physische Beschaffenheit der Sonne	297
121. Die Sonnenatmosphäre	301
122. Physische Constitution der Sonne	308
123. Das Zodiacallicht	311
124. Photometrische Vergleichung der Fixsterne	314
125. Bestimmung des Durchmessers der kleinen Planeten	319
126. Veränderliche Sterne	322
127. Temporäre Sterne	324
128. Farbige Sterne	325
129. Ansehen der Sterne mit blossem Auge und mit dem Fernrohre betrachtet	326
130. Anwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes der Gestirne .	327
131. Milchstrasse, Nebelflecken und Sternhaufen	328
132. Die Spectra der Fixsterne und der Nebelflecken	334
133. Das Spectrum der Kometen	339
134. Spectralapparate ohne Ablenkung	341
135. Einfluss der räumlichen Bewegung der Sterne auf ihr Spectrum .	344
136. Geschwindigkeit des Lichtes	348
137. Aberration des Lichts	351

Zweites Capitel.

Atmosphärische Lichterscheinungen.

	Seite
136. Atmosphärische Refraction	354
137. Das Funkeln der Sterne	357
138. Unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft	358
139. Der Durchsichtigkeits-Coëfficient	360
140. Methoden und Messungen von De la Rive und Wild	362
141. Durchsichtigkeit und Farbe des Wassers	369
142. Die allgemeine Tageshelle	372
143. Die Farbe des Himmels	373
144. Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes . .	374
145. Atmosphärische Linien	378
146. Polarisation des blauen Himmels	381
147. Die Polaruhr	384
148. Polarisation des blauen Wassers	385
149. Die Dämmerung	387
150. Luftspiegelung	390
151. Die Kimmung	394
152. Der Regenbogen	397
153. Secundäre Regenbogen	403
154. Höfe	405
155. Ringe und Nebensonnen	414

Drittes Buch.

Die calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und
in der Atmosphäre.

Erstes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

156. Die Meteorologie	419
157. Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen	421
158. Die fünf Zonen	422
159. Die tägliche Periode	423
160. Die Jahreszeiten	424
161. Modification normaler Temperaturverhältnisse	426
162. Thermometer-Beobachtungen	428
163. Maximum- und Minimum-Thermometer	431
164. Die registrirenden Instrumente	434
165. Die täglichen Variationen der Lufttemperatur	440
166. Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres	443
167. Jahresisothermen	447
167. Monatsisothermen	453
168. Die jährlichen Variationen der Lufttemperatur	460
169. Thermische Isanomalen	466
170. Land- und Seeklima	468
171. Ursachen der Krümmung der Isothermen	471

	Seite
172. Abweichungen vom normalen Gange der Wärme	473
173. Gleichzeitige Witterungsverhältnisse verschiedener Gegenden . . .	475
174. Veränderlichkeit monatlicher Mittel	480
175. Seculare Variationen des Klimas	486
176. Abnahme der Temperatur in höheren Luftregionen	489
177. Temperaturschwankungen in höheren Luftregionen	493
178. Temperaturverhältnisse der Hochebenen	495
179. Die Schneegränze	496
180. Die Gletscher	500
181. Regelation	505
182. Die Gletscherbewegung	508
183. Moränen und Gletscherschliffe	512
184. Die Gletscher verschiedener Gegenden	516
185. Die Eiszeit	518
186. Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre	520
187. Die nächtliche Strahlung	527
188. Temperatur des Bodens	530
189. Innere Erdwärme	535
190. Vulcane	537
191. Erdbeben	539
192. Quellentemperatur	543
193. Die periodischen Springquellen Islands	544
194. Erklärung des Geysirphänomens	548
195. Die heissen Quellen Neuseelands	552
196. Temperatur der Seen und Flüsse	558
197. Temperatur der Meeresoberfläche	560
198. Temperatur der Meerestiefen	562
199. Das Eismeer	563

Zweites Capitel.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

200. Die Lufthülle der Erde	569
201. Die Variationen des Barometerstandes	570
202. Tägliche Variationen des Barometers	572
203. Jährliche Periode der Barometerschwankungen :	577
204. Einfluss der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers	578
205. Mittlere monatliche Schwankungen	580
206. Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres	582
207. Barometrische Höhenmessung	582
208. Höhe der Atmosphäre	586
209. Abweichung barometrisch berechneter Höhen von den wahren . .	586
210. Ursachen der Barometerschwankungen	594
211. Atmosphärische Ebbe und Fluth	597
212. Entstehung der Winde	599
213. Passatwinde und Moussons	601
214. Winde in höheren Breiten	604
215. Gesetz der Winddrehung	606
216. Barometrische und thermometrische Windrose	608
217. Heisse Winde	609
218. Stürme	615
219. Verminderung des Luftdrucks bei Stürmen	616

	Seite
220. Richtung der Stürme in der heissen Zone	618
221. Tromben und Wasserhosen	620
222. Telegraphische Witterungsberichte	622
223. Sturmwarnungen	627

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

224. Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft	631
225. Daniel's Hygrometer	635
226. August's Psychrometer	639
227. Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft	643
228. Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft	647
229. Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden	647
230. Der Thau	650
231. Nebel und Wolken	651
232. Regenmenge	655
233. Regen zwischen den Wendekreisen	661
234. Hyetographische Karten	662
235. Die Verdunstung	663
236. Einfluss des Waldes auf die Regenmenge	667
237. Der Schnee	669
238. Der Hagel	671

Viertes Buch.

Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen
auf der Erdoberfläche.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektrizität.

239. Entdeckung der atmosphärischen Elektrizität	683
240. Feste Sammelapparate für atmosphärische Elektrizität	685
241. Beobachtung schwacher Luftelektrizität	686
242. Atmosphärische Elektrizität an verschiedenen Localitäten	691
243. Die Luftelektrizität bei verschiedenem Zustande des Himmels	692
244. Periodische Veränderungen der atmosphärischen Elektrizität	693
245. Elektrische Erscheinungen auf der Cheopspyramide	695
246. Quelle der Luftelektrizität	696
247. Elektrizität der Gewitterwolken	698
248. Die Blitzableiter	700
249. Galvanische Prüfung der Blitzableiter	703
250. Wirkungen der Gewitter auf elektrische Telegraphen	706
251. Geographische Verbreitung der Gewitter	708
252. Aeusserer Charakter der Gewitterwolken	710
253. Der Blitz und das Wetterleuchten	711
254. Der Donner	713
255. Wirkungen des Blitzschlages	714

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

256.	Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen . . . . .	.
257.	Bestimmung der magnetischen Declination . . . . .	.
258.	Bestimmung der Inclination . . . . .	.
259.	Bestimmung der horizontalen Intensität . . . . .	.
260.	Die magnetischen Constanten verschiedener Orte . . . . .	.
261.	Magnetische Curven . . . . .	.
262.	Lamont's magnetische Karten . . . . .	.
263.	Theorie des Erdmagnetismus . . . . .	.
264.	Die säcularen Variationen . . . . .	.
265.	Die täglichen Variationen . . . . .	.
266.	Magnetische Störungen . . . . .	.
267.	Ursache der magnetischen Störungen . . . . .	.
268.	Das Nordlicht . . . . .	.
269.	Beschreibung eines von Biot beobachteten Nordlichtes . . . . .	.
270.	Beschreibung des grossen Nordlichtes von 1836 . . . . .	.
271.	Das Nordlicht vom 21. und 25. October 1870 . . . . .	.
272.	Beschreibung der von Lottin zu Bossekop beobachteten Nordlichter	.
273.	Beziehungen des Nordlichtes zum Erdmagnetismus . . . . .	.
274.	Höhe, Ausdehnung, geographische Verbreitung und Periodicität der Nordlichter . . . . .	.
275.	Das Spectrum des Nordlichts . . . . .	.
276.	De la Rive's Theorie des Nordlichts . . . . .	.

Zur Notiz für den Buchbinder.

Die am Schlusse befindlichen Tafeln 1 — 26 sind beim Binden des Werkes an den betreffenden Stellen des Textes, wie solche im nachfolgenden Inhaltsverzeichnis der Tafeln angegeben sind, einzuhängen.

ringen.

Fig. 8 zu Seite 165: Die scheinbare Bahn des Mondes im Januar 1888.

Tab. 8 Fig. 1 zu Seite 170: Die scheinbare Bahn des Mondes zur Zeit, wo sein niedersteigender Knoten mit 0° zusammenfällt.

Fig. 2: Die scheinbare Bahn des Mondes zur Zeit, wo sein aufsteigender Knoten mit 0° zusammenfällt.

Tab. 9 zu Seite 309: Sonnenprotuberanzen.

Tab. 10 Fig. 1: Das Sonnenspectrum mit den wichtigsten Fraunhofer'schen Linien.

Fig. 2: Das Absorptionsspectrum der Erdatmosphäre (Seite 378).

Fig. 3: Spectrum des Sternes α im Orion (Secchi's erster Typus, Seite 339).

Fig. 4: Spectrum des Sirius (Secchi's dritter Typus).

Fig. 5: Spectrum des Sternes γ coronae (Seite 339).

Fig. 6: Die Hauptlinien des Spectrums der Protuberanzen (Seite 304).

Fig. 7: Spectrum des Nebelfleckes im Drachen (Seite 338).

Fig. 8: Spectrum des Nordlichts nach Zöllner (Seite 778).

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

	Seite
256. Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen	723
257. Bestimmung der magnetischen Declination	723
258. Bestimmung der Inclination	723
259. Bestimmung der horizontalen Intensität	731
260. Die magnetischen Constanten verschiedener Orte	734
261. Magnetische Curven	737
262. Lamont's magnetische Karten	747

VERZEICHNISS DER OCTAVTAFELN.

- a. 1 zu Seite 13:** Die Sternbilder Orion und Stier.
- a. 2 zu Seite 13:** Die Sternbilder Leyer und Schwan.
- a. 3 Fig. 1 zu Seite 121:** Die scheinbare Bahn der Venus im Jahre 1847.
Fig. 2 zu Seite 148: Scheinbare Bewegung der Venus um die Sonne.
- a. 4 zu Seite 121 und 134:** Ein Stück der scheinbaren Venusbahn im Jahre 1847.
- a. 5 zu Seite 122:** Die scheinbare Bahn des Saturn in den Jahren 1852 und 1853 nebst einem Stück der scheinbaren Merkursbahn im Jahre 1852.
- a. 6 zu Seite 125:** Die scheinbare Bahn des Mars vom 24. October 1870 bis zum 9. Juli 1871.
- a. 7 Fig. 1 und 2 zu Seite 158:** Die verschiedenen Gestalten des Saturnsringes.
Fig. 3 zu Seite 165: Die scheinbare Bahn des Mondes im Januar 1855.
- a. 8 Fig. 1 zu Seite 170:** Die scheinbare Bahn des Mondes zur Zeit, wo sein niedersteigender Knoten mit 0° zusammenfällt.
Fig. 2: Die scheinbare Bahn des Mondes zur Zeit, wo sein aufsteigender Knoten mit 0° zusammenfällt.
- a. 9 zu Seite 309:** Sonnenprotuberanzen.
- a. 10 Fig. 1:** Das Sonnenspectrum mit den wichtigsten Fraunhofer'schen Linien.
Fig. 2: Das Absorptionsspectrum der Erdatmosphäre (Seite 378).
Fig. 3: Spectrum des Sternes α im Orion (Secchi's erster Typus, Seite 339).
Fig. 4: Spectrum des Sirius (Secchi's dritter Typus).
Fig. 5: Spectrum des Sternes T coronae (Seite 339).
Fig. 6: Die Hauptlinien des Spectrums der Protuberanzen (Seite 304).
Fig. 7: Spectrum des Nebelfleckes im Drachen (Seite 338).
Fig. 8: Spectrum des Nordlichts nach Zöllner (Seite 778).

- Tab. 11 Fig. 1 und 2: Demonstrationsfiguren zur Theorie des Regenbogens (Seite 398 und Seite 403).
- Tab. 12 Fig. 1 und 2: Der tägliche Gang der Temperatur zu München in Januar und Juli (Seite 440).
- Fig. 3: Gang der mittleren täglichen Temperatur zu Frankfurt a. M. im Laufe des Monates Mai (Seite 460).
- Fig. 4 Seite 461: Gang der mittleren täglichen Temperatur zu Frankfurt a. M. vom 1. Januar bis zum 9. Februar.
- Tab. 13 Seite 460: Der mittlere jährliche Gang der Temperatur zu Havannah, Palermo, Berlin, Moskau und Jakutzk.
- Tab. 14 Fig. 1 Seite 466: Gang der Lufttemperatur zu Frankfurt a. M. in Januar 1853 und 1861.
- Fig. 2 und 3: Zusammenstellung je zweier jährlicher Temperaturcurven von Orten, welche nahezu gleiche mittlere Jahreswärme haben, von denen aber der eine dem Seeklima, der andere dem Continentalklima angehört.
- Tab. 15 Fig. 1 und 2 Seite 479: Abweichung von der normalen Vertheilung der Wärme in Europa im December 1829 und im Februar 1845.
- Tab. 16 Fig. 1 und 2 Seite 480: Abweichung von der normalen Vertheilung der Temperatur in Europa im November 1851 und im Januar 1848.
- Tab. 17 zu Seite 490: Abnahme der Temperatur, wie sie bei wachsender Höhe im Jahre 1852 während dreier Luftballon-Fahrten beobachtet wurde.
- Tab. 18 Seite 491: Die Jahresisothermen in den Alpen.
- Tab. 19 Fig. 1 bis 4 Seite 574: Die täglichen Variationen des Barometers zu Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg.
- Fig. 5 und 6 Seite 578: Der jährliche Gang des Barometers zu Calcutta und Macao.
- Tab. 20 Fig. 1 und 2 Seite 578: Der mittlere jährliche Gang des Barometers zu Paris und zu Petersburg.
- Fig. 3 Seite 580: Der tägliche Gang des Barometers zu Zürich und auf dem Faulhorn.
- Fig. 4 Seite 582: Der mittlere Stand des Barometers im Niveau des Meeres vom Aequator bis zum 70. Breitegrade.
- Fig. 5 Seite 596: Gegensatz im Gange des Barometers und des Thermometers.
- Tab. 21 Fig. 1 und 2 zu Seite 644 und Seite 646: Der tägliche Gang der atmosphärischen Feuchtigkeit zu Halle und auf der Rigi für den Monat Juli.
- Fig. 3 und 4 Seite 646: Der tägliche Gang der relativen Feuchtigkeit zu Bern und auf dem Simplon für die Monate Juli und Januar des Jahres 1868.
- Tab. 22 Fig. 1 und 2 Seite 666: Verhältniss der Regenmenge zur Verdunstung zu Lausanne für die Jahre 1866 und 1868.
- Fig. 3. Die Regenmenge auf dem Bernhardin, auf dem St. Gotthard und zu Altdorf vom 10. September bis zum 11. October 1868 (Seite 660).

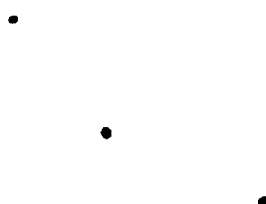
Tab. 23 Fig. 1: Tägliche Variationen der Declination zu Göttingen (Seite 757).

Fig. 2 und 3: Terminsbeobachtungen zu Upsala, Göttingen und Mailand (Seite 759).

Tab. 24 Fig. 1: Terminsbeobachtungen zu Upsala, Göttingen, Mailand und dem Cap der guten Hoffnung (Seite 760).

Fig. 2: Störungen der Declinationsnadel zu Alten und zu Upsala während eines Nordlichtes (Seite 761).

Tab. 25: Terminsbeobachtungen zu Toronto, Göttingen und Nertschinsk (Seite 761).



EINLEITUNG.

Es ist die Aufgabe der Experimentalphysik, die Naturkräfte kennen zu lernen und die Gesetze zu erforschen, nach welchen sie wirken; ihren Namen hat die genannte Wissenschaft daher, weil man das eben angezeigte Ziel vorzugsweise durch Versuche, durch Experimente zu erreichen sucht.

Für die Experimentalphysik ist die Erkenntniss der Naturgesetze das Ziel und für sich die Hauptsache. Wie sich mit Hülfe dieser Gesetze die Naturerscheinungen im Grossen erklären lassen, kann in dem Vortrage derselben wohl hier und dort als erläuterndes Beispiel besprochen werden, aber eine auch nur einigermaassen vollständige Durchführung nach dieser Seite hin würde der Physik im engeren Sinne des Wortes (das, was man eben Experimentalphysik zu nennen pflegt) eine überflüssige, die Uebersicht nur erschwerende Ausdehnung geben.

In der Physik lernen wir das Gesetz der Trägheit und die allgemeinen Gesetze der Bewegung kennen, wie sie durch irgend welche beschleunigenden Kräfte unter dem Einflusse der Trägheit zu Stande kommen; die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper aber und ihre mechanische Erklärung gehört der Astronomie an.

Die Experimentalphysik lehrt uns, wie sich die Luft unter dem Einflusse der Wärme ausdehnt und wie die erwärmte Luft in Folge ihres geringeren specifischen Gewichts aufsteigt; wie aber aus der ungleichen Erwärmung der Luftmassen, welche unsere Erdkugel einhüllen, die Winde entstehen, wie sich die Windverhältnisse verschiedener Gegenden gestalten, wie der Passatwind in der Nähe der Wendekreise und wie das Gesetz der Winddrehung in höherer Breite zu erklären sei, kann in der Experimentalphysik selbst nicht erörtert werden, die Untersuchung dieser Gegenstände gehört einem besonderen Zweige der physikalischen Wissenschaften, der Meteorologie, an.

Ebenso behandelt die Meteorologie die Wolken- und Nebelbildung, den Regen, die Thaubildung u. s. w., während die Experimentalphysik die Grundlage zur Erklärung dieser Phänomene liefert,

nämlich die Gesetze der Dampfbildung, der Condensation des Wasserdampfes und die Gesetze der strahlenden Wärme.

Eine ausführliche Betrachtung der meteorologischen und astronomischen Erscheinungen kann der Experimentalphysik eben so wenig einverleibt werden, als eine specielle Besprechung der technischen Anwendung physikalischer Gesetze.

Wie man reine und angewandte Mathematik unterscheidet, so könnte man auch reine und angewandte Physik unterscheiden; die kosmische und die technische Physik sind wohl die wichtigsten Zweige der letzteren.

Die kosmische Physik, welche die Astronomie und die Meteorologie umfasst, soll die Naturerscheinungen im Grossen verfolgen und sie so weit als möglich, auf physikalische Gesetze zurückführen; — sie hat also zu zeigen, wie dieselben Kräfte, welche die Experimentalphysik unbekannt kennen lehrt, in der ganzen Schöpfung zur Wirkung kommen, wie dieselben Gesetze, die wir im physikalischen Cabinet erforschen, das ganze Weltall beherrschen.

Da also die kosmische Physik gleichsam eine Anwendung der Physik zur Erklärung der Erscheinungen ist, welche wir in den Himmelsräumen und auf der Erdoberfläche beobachten, so werden auch die einzelnen Abschnitte, in welche sie zerfällt, den Hauptabtheilungen der Experimentalphysik: Mechanik, Optik, Wärme und Elektrizität, entsprechen; das vorliegende Werk besteht demnach aus vier Büchern, deren Inhalt in Kürze folgender ist:

Das erste Buch bespricht die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Das zweite Buch behandelt die kosmischen und atmosphärischen Lichterscheinungen.

Das dritte Buch beschäftigt sich mit den calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Den Gegenstand des vierten Buches endlich bilden die Erscheinungen der Luftelektrizität und des Erdmagnetismus.

ERSTES BUCH.

BEWEGUNGSCHEINUNGEN

DER

H I M M E L S K Ö R P E R

UND IHRE

MECHANISCHE ERKLÄRUNG.

Erstes Capitel.

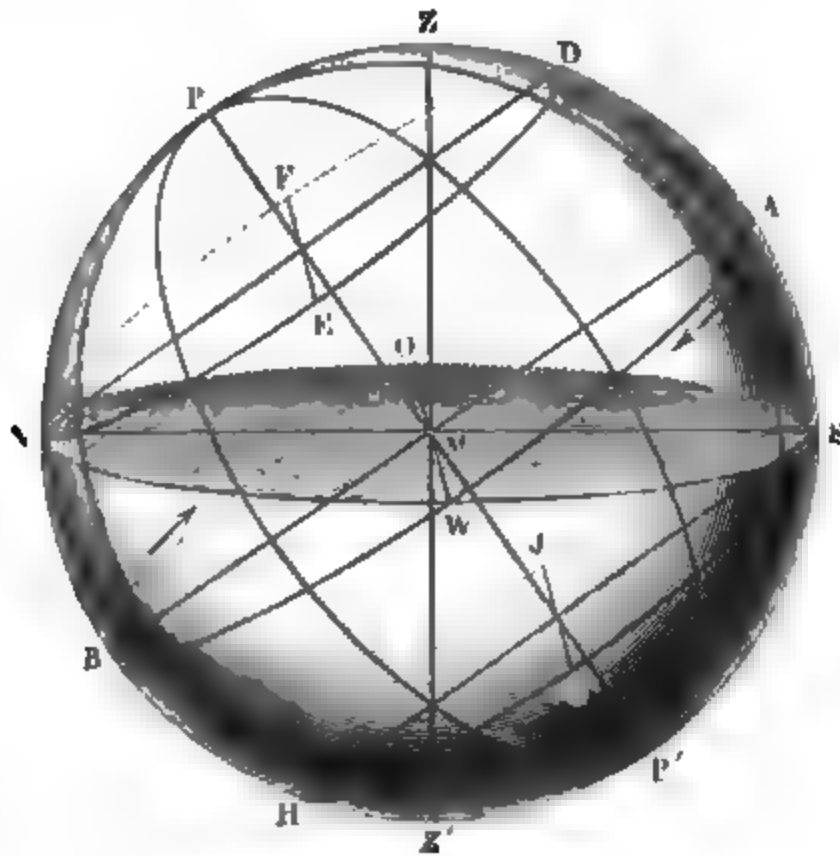
Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

Das Himmelsgewölbe. Der Himmel erscheint uns, wenn er nicht durch Wolken verdeckt ist, als eine ungeheure Hohlkugel, von welcher wir jedoch nie mehr als die Hälfte auf einmal übersehen können. In einer ganz flachen Gegend oder auf dem Meere erscheint uns die Oberfläche der Erde als eine Ebene, welche von der sichtbaren Hälfte der Himmelskugel überwölbt ist. Wir befinden uns scheinbar in der Mitte dieser Ebene und in dem Mittelpunkte des Himmelsgewölbes.

Die durch das Auge des Beobachters gelegte wagerechte Ebene, welche die sichtbare Hälfte der Himmelskugel von der unsichtbaren scheidet, heisst der Horizont.

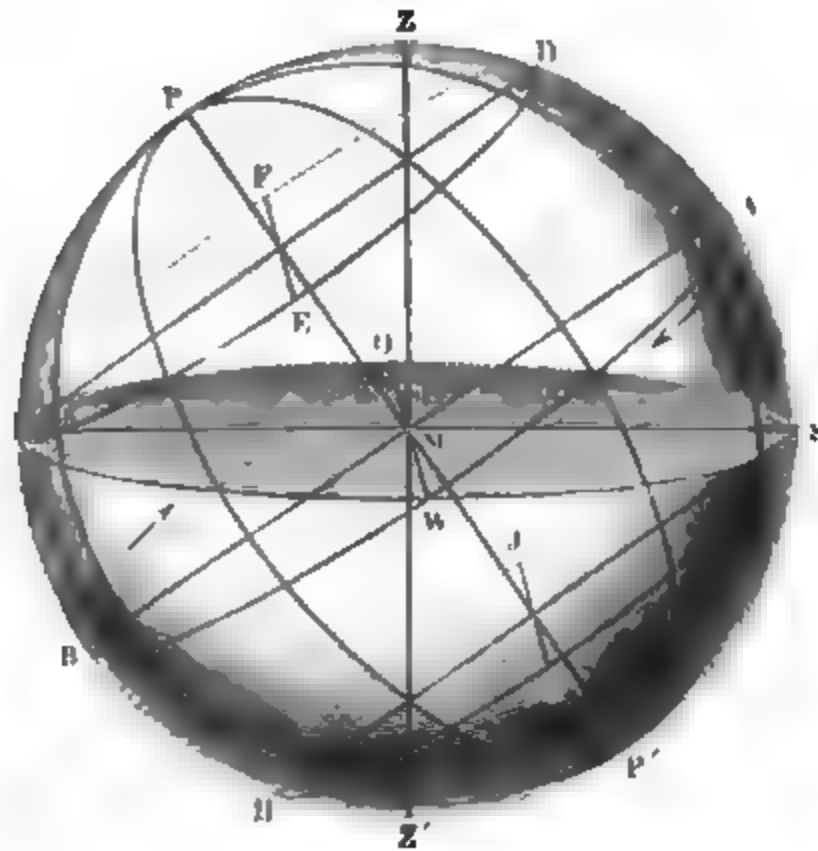
Fig. 1 stellt die Himmelskugel dar. *M* ist der Standpunkt des

Fig. 1.



Beobachters, der Mittelpunkt der Hohlkugel. — *N O S W* ist die durch den Mittelpunkt *M* gelegte Horizontalebene. Die obere Hälfte der Kugel sei die sichtbare, die untere die unsichtbare Hemisphäre des Himmels.

Fig. 2.



Denken wir uns durch *M* eine Linie gezogen, welche auf dem Horizont rechtwinklig steht, so trifft diese Linie die Himmelskugel in den Punkten *Z* und *Z'*. Der gerade über dem Haupte des Beobachters stehende Punkt *Z* heisst das Zenith, der untere *Z'* heisst das Nadir.

Bei Tage sehen wir die Sonne glänzend am blauen Himmel stehen; sobald sie untergegangen ist, wird die Farbe des Himmels allmählich dunkler und nun erscheint eine Menge funkelnder Sterne, deren Anzahl mehr sichtbar werden, je dunkler das Himmelsgewölbe wird.

Die Sterne, ungleich an Glanz und Helligkeit, erscheinen uns regelmässig über das Himmelsgewölbe zerstreut. Die wenigen Planeten und Kometen ausgenommen, haben sie eine unveränderliche Stellung gegen einander, weshalb sie auch den Namen der Fixsterne führen. Zur leichteren Orientirung hat man schon im grauen Alterthume die Sterne in Gruppen abgetheilt, welche die Namen von Heroen, Thieren führen, weshalb man denn auch jene Sterngruppen als Sternbilder bezeichnet und sie in den Sternkarten gewöhnlich mit den entsprechenden Figuren bedeckt. Diese Figuren sind meist ganz willkürlich gewählt und durchaus nicht durch die Gruppierung der Sterne bedingt, wie man denn z. B. aus den entsprechenden Sterngruppen sehr leicht einen Bären, einen Löwen, eine Jungfrau u. s. w. herausfinden kann. Näheres über die Sternbilder in einem der nächsten Paragraphen.

Tägliche Bewegung der Gestirne. Obgleich die gegenseitige Stellung der Fixsterne unter einander eine unveränderliche ist, so ändert sich doch beständig ihre Stellung gegen die Erdoberfläche, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man, ohne seinen Beobachtungsort zu ändern, nur etwa eine halbe Stunde lang die Stellung irgend eines Sternes gegen eine Bergspitze, einen Thurm oder sonst einen festen Punkt auf der Erboberfläche beobachtet.

Weit auffallender als mit blossen Auge erscheint diese eigene Bewegung der Gestirne, wenn man sie durch stark vergrössernde Fernröhre betrachtet. In kurzer Zeit hat der Stern das Gesichtsfeld des Fernrohres durchwandert.

Diese allen Fixsternen gemeinschaftliche Bewegung ist nun von der Art, dass es scheint, als drehe sich die ganze Himmelskugel sammt allen Sternen in je 24 Stunden um eine feste Axe, welche den Namen der Weltaxe führt.

Im mittleren Deutschland macht diese Weltaxe PP' (Fig. 2) einen Winkel von 50° mit dem Horizont, und dieser Winkel PMN , welcher, wie wir bald sehen werden, für verschiedene Orte auf der Erde sehr verschiedene Werthe hat, wird mit dem Namen der Polhöhe bezeichnet. Die Punkte P und P' , in welchen die Weltaxe das Himmelsgewölbe trifft, sind die Pole des Himmels. Der in Deutschland sichtbare Himmelspol P ist der Nordpol des Himmels. Die Polhöhe eines Ortes auf der Erdoberfläche ist also der Winkel, welchen die vom Auge des Beobachters nach dem sichtbaren Pole des Himmels gerichtete Visirlinie mit der Horizontalebene macht.

Eine rechtwinklig auf die Weltaxe durch den Punkt M gelegte Ebene $AWBO$ ist der Himmelsäquator. Mit demselben Namen des Himmelsäquators bezeichnet man aber nicht allein die genannte Ebene, sondern oft auch die Kreislinie, in welcher die Aequatorebene das Himmelsgewölbe schneidet.

Der Aequator theilt die Himmelskugel in eine nördliche und eine südliche Hemisphäre.

Denken wir uns senkrecht zur Ebene des Horizonts durch den Nordpol des Himmels P und das Zenith Z eine Ebene gelegt, so ist dies der Meridian, und die Durchschnittslinie NS des Meridians mit dem Horizont ist die Mittagslinie des Beobachtungsortes M .

Die Mittagslinie trifft die Himmelskugel in den Punkten N und S . Der dem Nordpole des Himmels näher gelegene, N , ist der Nordpunkt, S ist der Südpunkt.

Stellt sich der Beobachter in M so auf, dass er Norden im Rücken, Süden aber vor sich hat, so liegt Osten zu seiner Linken, Westen zu seiner Rechten.

Die Punkte O und W sind der Ostpunkt und der Westpunkt des Himmels.

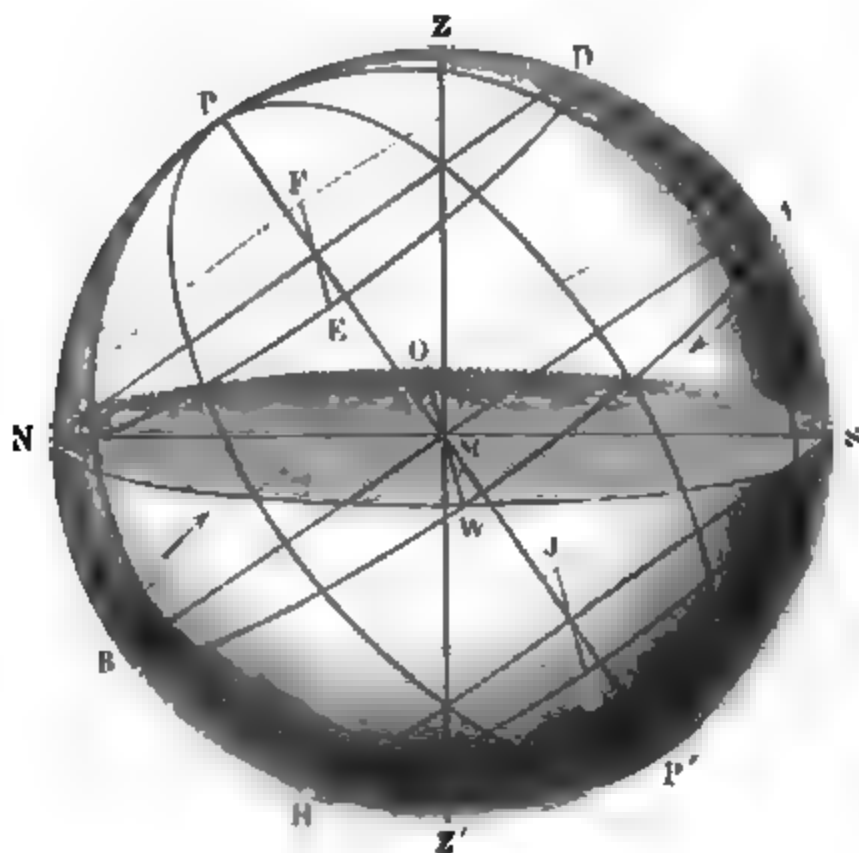
Nach diesen Definitionen können wir nun die Gesetze der täglichen Bewegung des Himmels näher erörtern.

Die scheinbare Drehung der Himmelskugel findet in der Richtung von Osten nach Westen, also in der Richtung der Pfeile in unserer Figur, Statt. Auf der Ostseite steigen die Gestirne auf, sie erreichen im Meridian ihre grösste Höhe und gehen dann auf der Westseite wieder nieder. Wenn ein Stern gerade im Meridian steht, so sagt man, dass er culminirt.

Während der täglichen Umdrehung beschreiben die in der Nähe des Pols *P* liegenden Sterne, welche man Circumpolarsterne nennt, nur kleine Kreise um denselben. In unseren Gegenden liegen die Kreise, welche die Circumpolarsterne beschreiben, ganz über dem Horizont; diese Sterne gehen also nicht auf und nicht unter.

Ein 50° vom Nordpol rechtwinklig auf die Weltaxe stehender Kreis *DENF*, Fig. 3, schneidet denjenigen Theil des Himmels ab, dessen

Fig. 3.



Sterne im mittleren Deutschland stets über dem Horizonte bleiben. Dem Kreise entsprechend ist auf der Südhälfte der Himmelskugel ein Kreis *SGHJ* gezogen, welcher den bei uns stets unsichtbaren Theil des Himmels abschneidet.

Diejenigen Sterne, welche beständig über dem Horizonte bleiben, passiren während 24 Stunden zweimal sichtbar den Meridian, einmal wenn sie auf der Ostseite des Himmels aufsteigend ihren höchsten Punkt erreicht haben, und dann, wenn sie nach ihrem Niedergange auf der Westseite des Himmels in ihrer tiefsten Stellung angekommen sind.

Die Circumpolarsterne haben also eine sichtbare obere und eine sichtbare untere Culmination.

Alle Sterne, welche sich auf der durch die Kreise $DENF$ und $SGHJ$ begränzten Zone befinden, beschreiben Bahnen, welche theils oberhalb, theils unterhalb des Horizontes liegen: alle auf dieser Zone liegenden Sterne gehen also auf und unter. Derjenige Theil einer Sternbahn, welcher über dem Horizonte liegt, heisst der Tagbogen, der unterhalb des Horizontes liegende Theil dagegen ist der Nachtbogen.

Für alle Sterne, welche auf dem Himmelsäquator liegen, ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich. In unseren Gegenden ist der Tagbogen für die auf der nördlichen, der Nachtbogen für die auf der südlichen Hemisphäre liegenden Sterne grösser.

Die auf- und untergehenden Sterne gehen allerdings auch während jeder Umdrehung der Himmelskugel zweimal durch die Ebene des Meridians, aber nur ihre obere Culmination ist sichtbar.

Die bisher besprochenen Erscheinungen der täglichen Bewegung des Himmels lassen sich sehr gut mit Hülfe eines Himmelsglobus, Fig. 4, anschaulich machen. Auf einem passenden Gestelle ist ein messingener

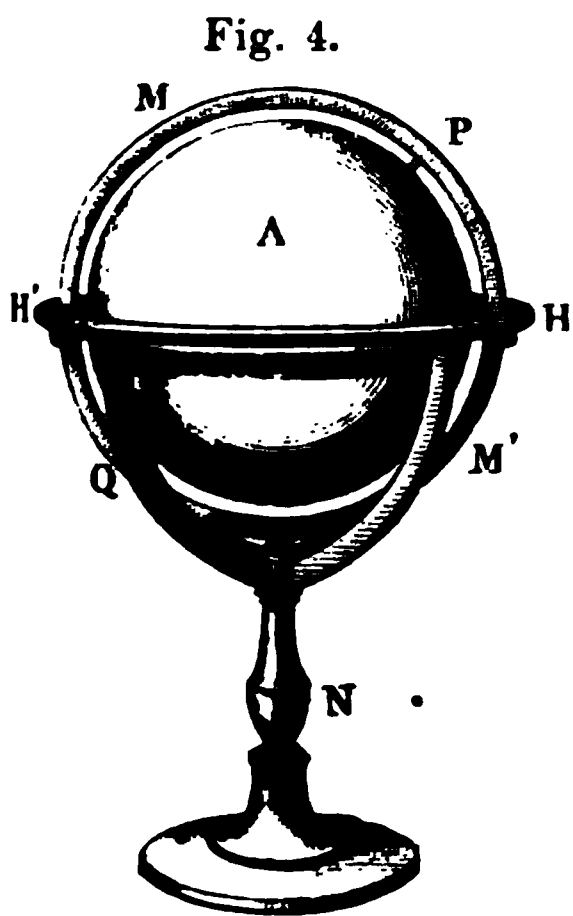


Fig. 4.

Ring MM' eingesetzt, innerhalb dessen eine um die Axe PQ drehbare Kugel A angebracht ist. Auf dieser Kugel sind die verschiedenen Sterne und Sternbilder in gehöriger gegenseitiger Stellung verzeichnet. PQ stellt die Weltaxe, HH' die Ebene des Horizontes dar. Um die Erscheinungen nachzuahmen, wie sie im mittleren Deutschland beobachtet werden, hat man nur den Ring M so zu stellen, dass die Axe PQ um 50° gegen den Horizont geneigt ist, d. h. dass der Bogen von P bis H 50° beträgt. Um eine gehörige Einstellung möglich zu machen, ist der Ring MM' in Grade eingetheilt.

Wir werden später noch einmal auf den Gebrauch des Himmelsglobus zurückkommen.

Um sich davon zu überzeugen, dass jeder Stern in der That einen Kreis um die Weltaxe beschreibt, braucht man nur ein Fernrohr so aufzustellen, dass es sich um eine feste Axe drehen lässt, deren Richtung mit der Weltaxe parallel ist. Fig. 5 (a. f. S.) zeigt eine hierzu geeignete Vorrichtung. Von dem gewöhnlichen Stativ eines Fernrohrs, welches eine Drehung um eine verticale und um eine horizontale Axe erlaubt, sind die Füsse weggenommen und die sonst vertical stehende Säule A rechtwinklig auf der schrägen Fläche CD eines Klotzes befestigt, welche mit dem Horizonte einen ebenso grossen Winkel macht wie der

Himmelsäquator. Stellt man nun den Apparat so auf, dass die Fläche CD dem Himmelsäquator parallel ist, so fällt die Axe BA mit der Richtung der Himmelsaxe zusammen. Richtet man alsdann das Fernrohr auf irgend einen Stern, schraubt man dann die Schraube B fest zu, dass der Winkel, welchen das Fernrohr mit der Säule A macht, nicht mehr ändern kann, so braucht man das Fernrohr nur langsam die Axe A zu drehen, um den Stern beständig im Gesichtsfelde zu halten.

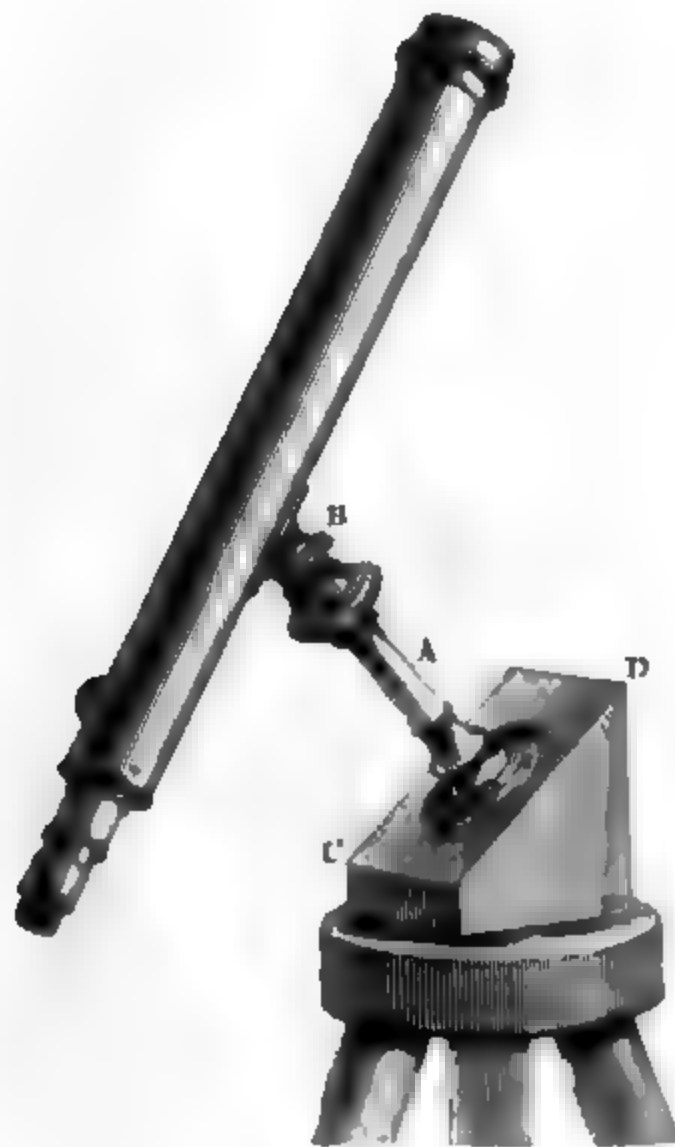
Bei dieser Umdrehung beschreibt die Visirlinie des Fernrohres eine Kegelfläche und der Durchschnitt dieser Kegelfläche mit dem Himmel

Fig. 5.

wölbe ist ein Kreis, welcher dem Himmelsäquator parallel läuft. Aus diesem Grunde sagt man auch, dass ein Fernrohr, welches in der erwähnten Weise aufgestellt ist, parallaktisch aufgestellt sei.

Wir werden später zweckmässigere und vollkommenere Formen parallaktischer Aufstellung kennen lernen.

3



Sternzeit. Die Zeit, welche zwischen je zwei einander folgenden oberer Culminationen eines und desselben Fixsternes vergeht, wird ein Sterntag genannt.

Der Sterntag wird in Stunden, jede dieser Stunden in 60 Minuten, jede Minute in 60 Secunden getheilt.

Die mittlere Sonnenzeit nach welcher unsere gewöhnlichen Uhren gehen, ist der eben erwähnten Sternzeit verschieden;

denn die Zeit, welche von einer Sonnenculmination zur nächsten vergeht, ist, wie wir bald sehen werden, grösser als Sterntag.

Ein Sterntag ist nach mittlerer Sonnenzeit gleich 23 Stunden und 4,09'', woraus sich folgende Vergleichung der Sternzeit und mittleren Sonnenzeit ergibt:

Sternzeit.	Mittlere Zeit.
1 ^h	0 ^h 59' 50,17"
1'	59,81

und

Mittlere Zeit.	Sternzeit.
1 ^h	1 ^h 0' 9,86"
1'	1 0,16

Auf Sternwarten werden nicht allein Uhren gebraucht, welche nach mittlerer Sonnenzeit, sondern auch solche, welche nach Sternzeit gehen.

Die Sternzeit könnte man von der Culmination irgend eines beliebigen Sternes zählen, was aber in der That nicht geschieht; denn die Astronomen zählen den Sterntag von der Culmination eines bestimmten, später näher zu definirenden Punktes auf dem Himmelsäquator an, welcher den Namen des Frühlingspunktes führt und an dessen Stelle gerade kein Stern steht. Vorläufig mag nur bemerkt werden, dass der Frühlingspunkt derjenige ist, in welchem die Sonne im März den Himmelsäquator passirt.

Hier mag auch die Bemerkung Platz finden, dass die Astronomen ihren Sonnentag von Mittag zu Mittag zählen und nicht, wie es im bürgerlichen Leben geschieht, von Mitternacht zu Mitternacht, und dass sie ferner die 24 Stunden ununterbrochen fortzählen, und zwar beginnen sie ihren Tag am Mittag des gleichnamigen bürgerlichen Tages.

Die folgende kleine Tabelle enthält für verschiedene Stunden eines beliebigen Sonnentages die entsprechende Bezeichnung nach astronomischer und bürgerlicher Zeitrechnung.

Astronomische Zeit.	Bürgerliche Zeit.
6ten März 0 ^h	6ten März 12 ^h Mittags
" " 4	" " 4 Nachmittags
" " 8	" " 8 Abends
" " 12	7ten März 0 Mitternacht
" " 16	" " 4 Morgens
" " 20	" " 8 Morgens

Sternbilder. Für Jeden, welcher die astronomischen Erscheinungen studiren will, ist es von grosser Wichtigkeit, zunächst die Bühne kennen zu lernen, auf welcher alle jene Erscheinungen vor sich gehen,

also sich am Fixsternhimmel zu orientiren, d. h. sich wenigstens mit den ausgezeichneteren Sternen und ihrer gegenseitigen Stellung bekannt zu machen.

Die Zahl der im mittleren Europa mit blossem Auge sichtbaren Fixsterne beträgt ungefähr 3250. Nach der Stärke ihres Glanzes hat man sie in sechs Classen abgetheilt, so dass die hellsten als Sterne erster Grösse bezeichnet werden, während man die schwächsten, die einem guten Auge noch erkennbaren, Sterne sechster Grösse nennt. Unter den im mittleren Deutschland sichtbaren Sternen giebt es

14 Sterne erster Grösse			
51	"	zweiter	"
153	"	dritter	"
325	"	vierter	"
810	"	fünfter	"
1871	"	sechster	"
15	"	veränderlicher Grösse.	

Dazu kommt aber noch eine ungeheure Anzahl von Sternen, welche nur durch Fernröhre sichtbar sind und welche teleskopische Sterne genannt werden.

Die Zahl der im mittleren Europa sichtbaren Sternbilder beträgt 57, wenn man einige kleinere in späteren Zeiten auf Kosten der älteren eingeführten unberücksichtigt lässt. Die Namen dieser Sternbilder sind:

der kleine Bär,	der Widder,	Eridanus,
Cassiopeia,	der Stier,	der Hase,
Kamelopard,	Orion,	die Taube,
der Drache,	die Zwillinge,	das Einhorn,
Cepheus,	der kleine Hund,	der grosse Hund,
Perseus,	der Krebs,	das Schiff Argo,
der Fuhrmann,	der grosse Löwe,	Hydra,
der Luchs,	der kleine Löwe,	der Becher,
der grosse Bär,	der Sextant,	die Jungfrau,
die Jagdhunde,	das Haar der Berenice,	der Rabe,
Bootes,	die Schlange,	der Centaur,
die nördliche Krone,	Ophiuchus,	die Wage,
Hercules,	der Adler,	der Wolf,
die Leyer,	der Fuchs,	der Scorpion,
der Schwan,	der Pfeil,	der Schütze,
die Eidechse,	der Delphin,	das Schild des Sobieski,
Andromeda,	das Füllen,	der Steinbock,
die Fische,	Pegasus,	der Wassermann,
der Triangel,	der Walfisch.	der südliche Fisch.

Die Karte Tab. I. des Atlases zeigt in Polarprojection die Sternbilder der nördlichen Hemisphäre bis zu einer Entfernung von 60° vom Nordpol des Himmels, welcher den Mittelpunkt dieser Karte bildet.

Die Karte Tab. II. zeigt in Aequatorialprojection den Theil des Him-

mels, welcher von zwei rechtwinklig auf der Weltaxe stehenden Kreisen begrenzt ist, von denen der eine 50° nördlich, der andere 50° südlich vom Himmelsäquator liegt, es kommen also die Sterne am oberen Rande von Tab. II. auch am äusseren Rande von Tab. I. vor; am unteren Ende von Tab. II. befinden sich aber Sterne, welche im mittleren Europa nie über den Horizont kommen.

In diesen Karten sind die Sterne erster bis fünfter Grösse eingetragen, und zwar die Sterne erster Grösse als 8seitige Sternchen, die Sterne zweiter, dritter und vierter Grösse als 6seitige, 5seitige und 4seitige Sternchen; die Sterne fünfter Grösse endlich als blosse Punkte.

Die Sternkarten Tab. I. und Tab. II. enthalten nur die Sterne selbst, um nicht durch Weiteres die Uebersichtlichkeit der Constellation zu stören. Die Abtheilung der Sternbilder, die Namen derselben, die Bezeichnung der einzelnen Sterne u. s. w. findet man auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV., welche, wie man sich leicht überzeugen kann, den Karten Tab. I. und Tab. II. vollkommen entsprechen.

Ein auf der Karte Tab. III. mit dem Radius 50° gezogener Kreis begrenzt den Theil des Himmels, dessen Sterne für das mittlere Deutschland nicht auf- und nicht untergehen.

Die Kärtchen Tab. I. und Tab. II. sind freilich etwas zu klein, um ein recht trenes Bild des gestirnten Himmels geben und sie unmittelbar mit demselben vergleichen zu können, ich habe deshalb grosse Sternkarten im fünffachen Maassstabe der Tab. I. und Tab. II. anfertigen lassen (Verlag von Fr. Wagner in Freiburg). In diesen grossen Sternkarten sind die Sterne gleichfalls weiss auf dunklem Grunde eingedruckt, der Aequator aber, die Ekliptik und die Gränzen der Sternbilder sind durch eingedruckte rothe Linien bezeichnet, durch welche der Totaleindruck der Sternconstellationen nicht gestört wird.

Tab. 1 und Tab. 2*) stellen einzelne sternreiche Gegenden des Himmels in etwas grösserem Maassstabe sammt den gebräuchlichen Figuren dar, und zwar Tab. 1 die Sternbilder Orion und Stier, Tab. 2 Leyer und Schwan.

Bezeichnung der einzelnen Sterne. Die auffallenderen 5 Sterne waren schon von den Alten mit besonderen Namen belegt worden, wie z. B. Sirius, Capella, Regulus u. s. w.; andere Namen einzelner Sterne rühren von den Arabern her, wie Deneb, Aldebaran, Rigel u. s. w. Da jedoch die Zahl der einzelnen Sterne viel zu gross ist, um jedem einen eigenen Namen beilegen zu können, ohne dass alle Uebersichtlichkeit verloren ginge, so haben die Astronomen seit Bayer und Doppelmayr die einzelnen Sterne jedes Sternbildes mit griechi-

*) Während der Atlas die grösseren Tafeln enthält, ist eine Reihe kleinerer dem Text unmittelbar angehängt. Zum Unterschied sollen die Tafeln des Atlases mit lateinischen, die kleineren, dem Text angehängten Tafeln aber mit arabischen Ziffern bezeichnet werden.

schen oder lateinischen Buchstaben bezeichnet, und zwar so, dass man den hellsten Stern des Sternbildes α , den folgenden β u. s. w. nannte. Später musste man jedoch auch noch zu Zahlen seine Zuflucht nehmen.

Die bei uns sichtbaren Sterne erster Grösse sind:

1) Nördlich vom Aequator.

Wega oder α der Leyer.

Capella oder α des Fuhrmanns.

Arcturus oder α des Bootes.

Aldebaran oder α des Stiers.

Regulus oder α des grossen Löwen.

Atair oder α des Adlers.

Pollux oder β der Zwillinge.

Procyon oder α des kleinen Hundes.

Beteigeuze oder α des Orion.

2) Südlich vom Aequator.

Rigel oder β des Orion.

Sirius oder α des grossen Hundes (der hellste Fixstern).

Spica oder α der Jungfrau.

Antares oder α des Scorpions.

Fomalhaut oder α des südlichen Fisches.

Von Manchen wird auch noch Deneb oder α des Schwans zu den Sternen erster Grösse gerechnet.

Es wird keine Schwierigkeit haben, diese Sterne auf den Karten Tab. I. und Tab. II., sowie auch auf Tab. III. und Tab. IV. aufzufinden.

Unter den Sternen zweiter Grösse ist hervorzuheben:

α ursae minoris oder der Polarstern.

Algenib oder α des Persens, der nördliche von den beiden Sternen zweiter Grösse, welche unsere Karte in diesem Sternbilde zeigt. Der andere als ein Stern zweiter Grösse bezeichnete ist Algol oder β des Persens, der Hauptstern im Haupte der Medusa. Algol, ist veränderlich, er wechselt zwischen zweiter und vierter Grösse.

Der grosse Bär enthält sechs Sterne zweiter Grösse, welche mit einem Stern dritter Grösse die Constellation Fig. 6 bilden, welche die Alten auch den Wagen nannten. Die Sterne δ , ϵ , ζ und η bilden den Schwanz des grossen Bären. Alle diese sieben Sterne führen auch arabische Namen; so heisst α des grossen Bären auch Dubhe; Merak und Mizar sind die arabischen Namen für β und ζ ursae majoris.

Im grossen Löwen finden sich ausser einem Sterne erster Grösse, dem Regulus, noch drei Sterne zweiter Grösse, von denen der östliche β leonis auch den Namen Denebola führt.

In der Nähe des schon erwähnten Pollux im Sternbilde der Zwillinge, und zwar nordwestlich von demselben, findet sich α geminorum oder Castor, ein Stern zweiter Grösse.

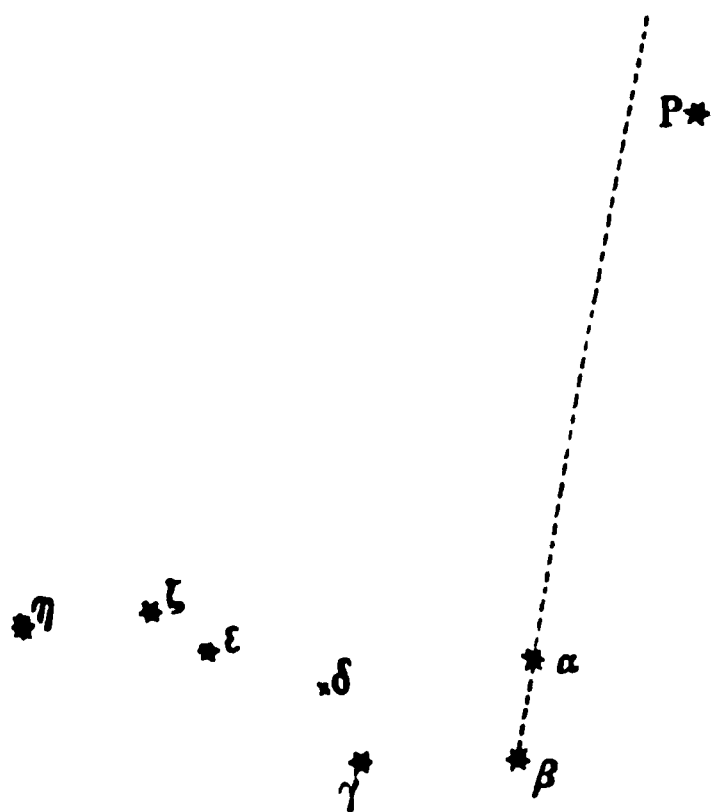
Zu den schönsten Sternbildern des Himmels gehören Orion und der Stier, welche in Tab. 1 besonders dargestellt sind. Wie bereits oben erwähnt wurde, sind im Orion zwei Sterne erster Grösse, Rigel und Beteigewe, im Stier aber einer, nämlich Aldebaran. Im Orion bilden drei nahe zusammenstehende Sterne zweiter Grösse eine fast gerade Linie (den Jacobsstab oder den Gürtel des Orion), welche nach Osten hin verlängert etwas über dem Sirius hinläuft.

Das Sternbild des Stieres ist besonders durch zwei Sterngruppen, die Hyaden und die Plejaden (das Siebengestirn oder die Gluckhenne), ausgezeichnet, deren schon Homer Erwähnung thut. Die Hyaden, zunächst bei Aldebaran, bilden mit demselben ein Dreieck; nordwestlich davon stehen die Plejaden, ein dicht gedrängter Sternhaufen, in dessen Mitte sich Alcyone, ein Stern dritter Grösse, befindet.

Wir werden später noch auf die Eigenthümlichkeiten einzelner Fixsterne zurückkommen.

Orientirung am Himmel. Um sich am gestirnten Himmel zu 6 orientiren, geht man gewöhnlich vom Sternbilde des grossen Bären aus, welches durch die ausgezeichnete Constellation, Fig. 6, am nördlichen Himmel zu allen Jahreszeiten leicht aufgefunden werden kann. Denkt

Fig. 6.



man sich die Linie, welche die Sterne α und β verbindet, in der Richtung von β über α hinaus verlängert, so geht dieselbe nahe bei einem Sterne P vorbei, welcher ungefähr $5\frac{1}{2}$ Mal so weit von α absteht als β . Dieser Stern ist der Polarstern, (α des kleinen Bären), welcher nahezu genau nördlich vom Beobachter steht.

Hat man einmal den grossen Bären und den Polarstern am Himmel aufgefunden, so geben diese Sterne

den Ausgangspunkt zu einer weiteren Orientirung am Himmel und zur Aufsuchung der übrigen Sternbilder. Eine öfters wiederholte Vergleichung guter Sternkarten und Himmelsgloben mit dem gestirnten Himmel selbst ist das beste Mittel, die einzelnen Sternbilder kennen zu lernen.

Um eine solche Orientirung zu erleichtern, mag hier noch angeführt werden, an welcher Stelle des Himmels Abends um 9 Uhr die wichtigsten Sternbilder zu finden sind.

In der Mitte Januar steht um 9 Uhr Abends der Stier und Orion am südlichen Himmel; Aldebaran hat bereits den Meridian

passirt und Rigel ist der Culmination nahe. Am südöstlichen Himmel ist Sirius leicht aufzufinden. Dem Zenith sehr nahe steht Capella im Sternbild des Fuhrmanns. Eine gerade Linie von Rigel über Beteigeuze führt zum Sternbild der Zwillinge, welches durch die beiden Sterne Castor und Pollux leicht kenntlich ist. Am nordöstlichen Himmel geht der grosse Löwe auf. Regulus steht schon ungefähr 20° über dem Horizont. Etwas westlich vom Nordpunkt ist Wega eben über dem Horizont sichtbar.

Unterhalb des Horizontes befinden sich um diese Zeit unter andern die Sternbilder Jungfrau, Scorpion, Schütze, Adler, Delphin u. s. w.

In der bezeichneten Abendstunde hat in der Mitte Februar Sirius bereits culminirt und Orion steht westlich, Castor und Pollux in einer Höhe von etwa 70 Graden noch etwas östlich vom Meridian. Nach Nordnordwesten hin steht α des Schwans dem Horizont nahe. Am östlichen Himmel ist das Sternbild des Löwen jetzt ganz sichtbar, indem Denebola gerade nach Osten hin schon ungefähr 25° über dem Horizont steht. Am westlichen Himmel findet man das Sternbild des Widders ungefähr 30° über dem Horizont. Im Nordosten ist Arcturus im Sternbild des Bootes eben aufgegangen.

Mitte März, Abends 9 Uhr. Der Widder dem Untergang nahe; Stier und Orion am westlichen Himmel, Regulus der Culmination nahe. Im Osten ist Spica im Sternbild der Jungfrau bereits aufgegangen. Gerade nach Norden steht α des Schwans eben über dem Horizont.

Mitte April, Abends 9 Uhr. Orion und der Stier dem Untergang nahe; der grosse Löwe culminirt, und zwar hat Regulus den Meridian bereits passirt. Denebola steht noch östlich von demselben. Zwischen Aldebaran und Regulus findet man das Sternbild der Zwillinge am westlichen Himmel ungefähr 40° über dem Horizont. Im Südosten des Himmels steht das Sternbild der Jungfrau. Der grosse Bär steht fast im Zenith. Sirius dem Untergange nahe.

Mitte Mai, Abends 9 Uhr. Nach Norden hin, etwas westlich vom Meridian und noch 20° über dem Horizont findet man das Sternbild der Cassiopeia. Am nordöstlichen Himmel ist der Schwan bereits ganz aufgegangen, und Wega steht schon ziemlich hoch über dem Horizont. Etwas weniger hoch über dem Horizont steht Capella nach Nordwesten hin. Am westlichen Himmel findet man die Zwillinge und den kleinen Hund. Spica nähert sich dem Meridian. Etwas weiter davon entfernt, aber höher, findet sich Arcturus im Sternbild des Bootes.

Mitte Juni, Abends 9 Uhr. Arcturus hat den Meridian bereits passirt und steht ungefähr 60° über dem Horizont. Am westlichen Himmel ist der grosse Löwe sichtbar. Die Zwillinge sind zum Theil schon untergegangen, aber Castor und Pollux noch sichtbar. Am südwestlichen Himmel steht das Sternbild der Jungfrau. Am östlichen Himmel findet man den Delphin, den Adler, den Schwan und die Leyer. Am südöstlichen Himmel steht Antares im Sternbild des Scorpions.

Mitte Juli, Abends 9 Uhr. Antares hat bereits den Meridian passirt. Regulus ist dem Untergange nahe. Spica steht am südwestlichen Himmel. Gerade nach Norden hin Capella fast am Horizont. Hoch am östlichen Himmel stehen Delphin, Adler, Schwan und Leyer.

Mitte August, Abends 9 Uhr. Spica eben untergehend, der Scorpion 30° westlich vom Meridian nahe über dem Horizont. Bootes am westlichen Himmel. Wega culminirt, beinahe 80° über dem Horizont, etwas östlich davon steht der Schwan.

Mitte September, Abends 9 Uhr. Delphin und α des Schwans culminiren, am westlichen Himmel steht Arcturus dem Horizont nahe; am nordöstlichen Himmel sieht man Capella in geringer Höhe über dem Horizont.

Mitte October, Abends 9 Uhr. Am westlichen Himmel stehen Adler, Schwan und Leyer. Aldebaran und die Plejaden sind im Osten bereits aufgegangen.

Mitte November, Abends 9 Uhr. Gerade nach Norden hin steht der grosse Bär in seiner tiefsten Stellung. Cassiopeia beginnt zu culminiren. Orion ist im Osten, und etwas mehr nach Norden hin sind die Zwillinge aufgegangen. Ausserdem stehen am östlichen Himmel der Fuhrmann, Perseus, der Stier, und mehr nach Süden hin der Wallfisch. α der Andromeda hat eben den Meridian passirt. Am westlichen Himmel Adler, Leyer, Schwan u. s. w.

Mitte December, Abends 9 Uhr. Am östlichen Himmel glänzen Orion, der Stier, die Zwillinge, der Fuhrmann mit der Capella. Im Süden steht der Wallfisch. Der Widder, ungefähr 60° über dem Horizont, hat bereits den Meridian passirt. Dem Zenith nahe stehen Persens und Cassiopeia. Ersteres Sternbild ist der Culmination nahe, letzteres hat den Meridian bereits passirt. Am westlichen Himmel ist der Delphin dem Untergange nahe, mehr nach Norden hin steht die Leyer noch über dem Horizont und zwischen beiden etwas höher am Himmel der Schwan.

Die am oberen Rande der Karte Tab. IV. notirten Monattage bezeichnen die Stelle des Himmels, welche an den genannten Tagen um Mitternacht culminirt. Zieht man z. B. von dem Punkte des oberen Randes, welcher dem 9. December entspricht, eine verticale Linie herunter, so geht diese durch den Stern β Orionis; Rigel culminirt also um Mitternacht am 9. December.

Ebenso ersieht man aus jener Karte, dass das Sternbild des Scorpions Ende Mai und Anfangs Juni um Mitternacht culminirt.

Höhe und Azimut. Um die Stellung eines Gestirns am Himmel mit der Genauigkeit zu bestimmen, wie es astronomische Zwecke erfordern, genügt es nicht, seine Stellung in einem Sternbilde anzugeben, es genügt z. B. nicht, zu sagen: der oder jener Stern steht im Kopfe des Drachen; der Mond befindet sich eben in der linken Schulter der

wegung des Himmels ändert sich sowohl Höhe als auch Azimut eines Gestirns in jedem Augenblick.

Um Höhe und Azimut eines Gestirns für einen gegebenen Augenblick ermitteln zu können, ist es vor allen Dingen nöthig, dass die Mittagslinie des Beobachtungsortes mit Genauigkeit bestimmt sei, weil sie ja den Ausgangspunkt zur Messung der Azimute bildet.

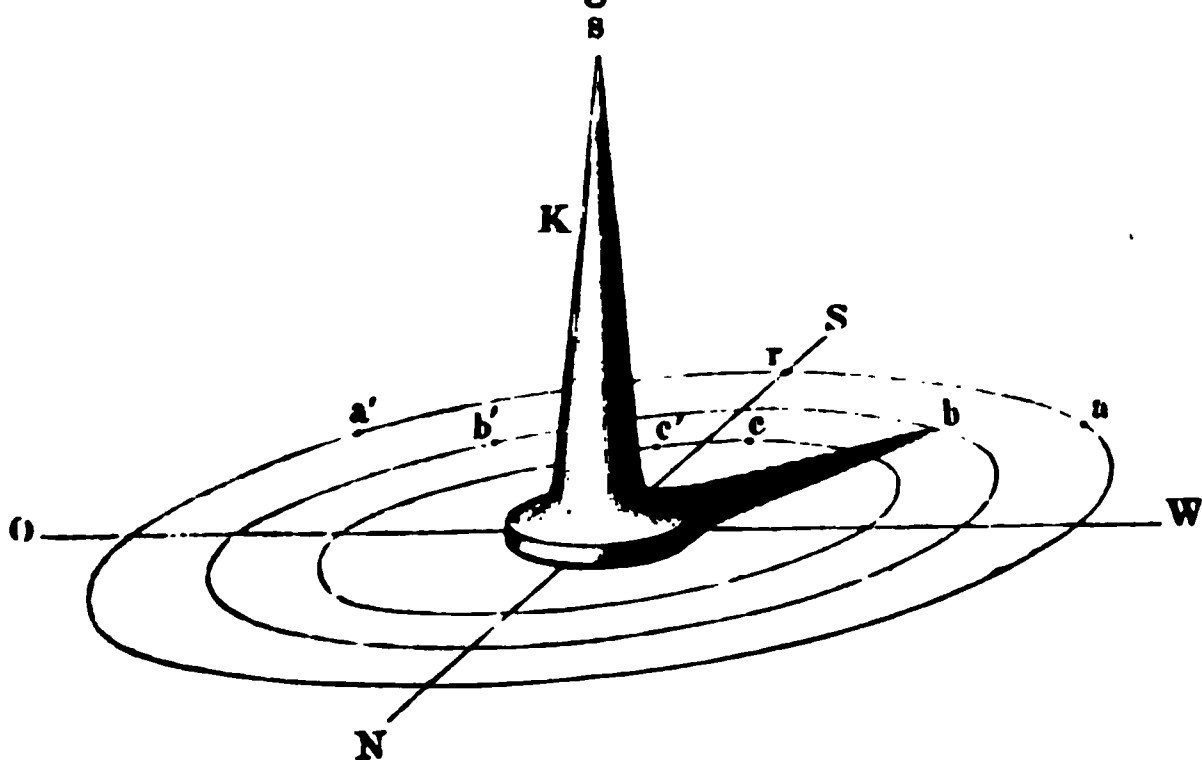
Bestimmung des Meridians. Denkt man sich durch das Auge des Beobachters und ein Gestirn, welches eben culminirt, eine Verticalebene gelegt, so ist dies der Meridian.

In dem Moment, in welchem die Sonne ihre grösste Höhe erreicht, ist der Schatten, welchen ein verticaler Stab auf eine horizontale Ebene wirft, am kürzesten. Um also die Mittagslinie zu bestimmen, hat man nur für den Augenblick, in welchem die Länge des Stabschattens ein Minimum geworden ist, durch das Ende desselben eine gerade Linie nach dem Mittelpunkte des Stabes zu ziehen, so ist dies die Mittagslinie.

Nun aber ändert sich um die Mittagszeit die Länge des Schattens langsam, dass man nicht erwarten kann, nach der angegebenen Methode die Richtung der Mittagslinie mit einiger Genauigkeit zu bestimmen. Genauer findet man sie auf folgende Weise:

Auf einer horizontalen Ebene (etwa der wagerecht gestellten Ebene eines Messtischblattes) ziehe man eine Reihe concentrischer Kreise und stelle dann einen spitzigen Kegel K von Holz oder Messing so auf, dass der Mittelpunkt seiner Grundfläche mit dem Mittelpunkte der gezogenen Kreise zusammenfällt. Dieser Kegel wirft nun einen Schatten. Zu einer bestimmten Zeit des Vormittags wird die Spitze des Schattens gerade auf den äussersten Kreis fallen, und man bezeichnet nun den Punkt a ,

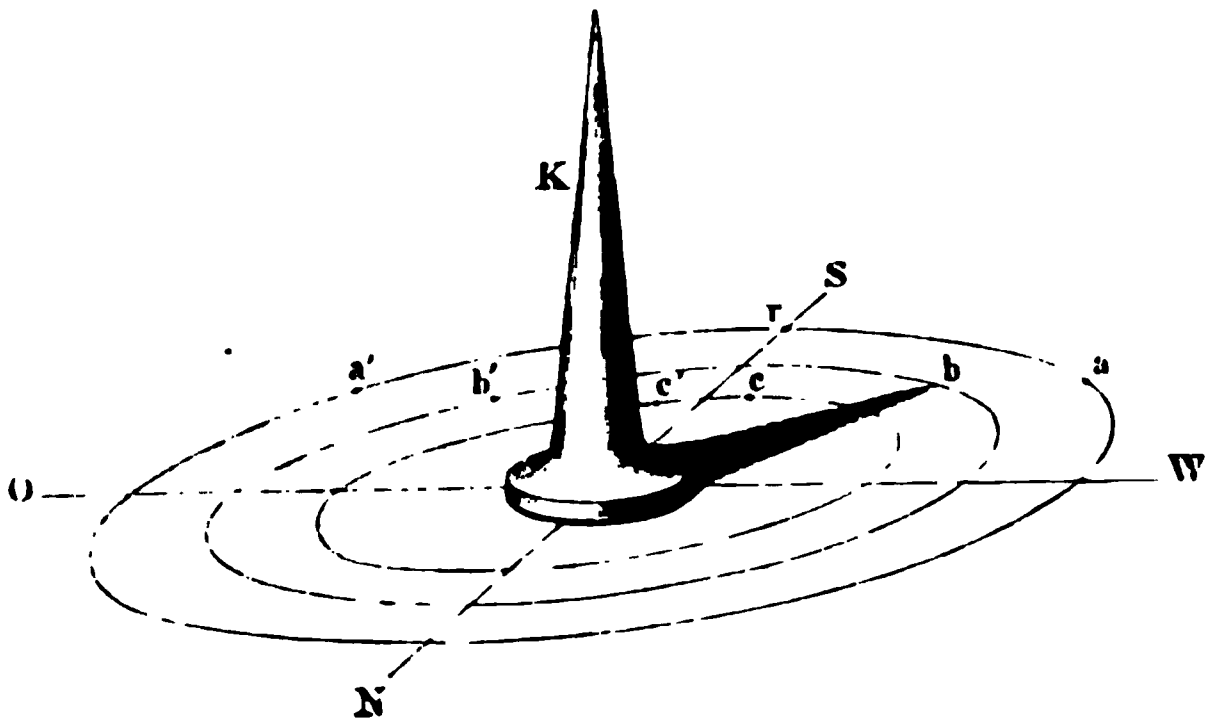
Fig. 8.



wo dies stattfindet. Je mehr die Sonne steigt, desto kürzer wird der Schatten, und so wird denn auch nach und nach die Spitze des Schattens den zweiten, den dritten u. s. w. Kreis treffen, und man bezeichnet jedesmal die Punkte b , c u. s. w., wo dies der Fall ist. In gleicher

Weise bezeichnet man auch des Nachmittags die Punkte c' b' a' , in denen die Spitze des Stabschattens dieselben Kreise trifft. Halbirt

Fig. 9.



nun den Bogen aa' , zieht man von dem Halbirungspunkte r eine nach dem Mittelpunkte der Kreise, so ist dies die Mittagslinie, v in unserer Figur durch NS bezeichnet ist. In gleicher Weise man sie durch Halbierung des Bogens bb' und des Bogens cc' .

Wären alle Beobachtungen und Halbierungen fehlerlos, so müßten die so bestimmten Mittagslinien genau zusammenfallen. Ist dies der Fall, so nimmt man eine zwischen diesen liegende mittlere Richtung als Mittagslinie an.

Eine solche Vorrichtung, wie überhaupt jede, welche dazu dienen um durch den Schatten irgend eines Körpers die Mittagslinie zu bestimmen oder Sonnenhöhen zu messen, wird ein Gnomon genannt. Sobald einmal für einen Gnomon die Mittagslinie bestimmt, so erhält man durch diese Vorrichtung leicht Höhe und Azimut der Sonne für einen gegebenen Moment. Bezeichnen wir nämlich den Mittelpunkt der Kreise mit M , so ist der Winkel bMr das Azimut, der Winkel bsM die Nithdistanz, der Winkel sbM ist die Höhe der Sonne in dem Moment, in welchem der Schatten der Spitze s nach b fällt.

Der Augenblick, in welchem die Spitze des Stabschattens genau auf die Mittagslinie fällt, ist der wahre Mittag.

Wenn ein Gnomon die Sonnenhöhe mit einiger Genauigkeit angeben soll, so muss er bedeutende Dimensionen haben, und in der That haben auch die alten Aegypter die Obelisken an, eine Sonnenhöhe zu bestimmen; allein mit der grösseren Höhe des schattenwerfenden Körpers wird auch der Schatten der Spitze verwaschener, und dies ist dann eine neue Fehlerquelle.

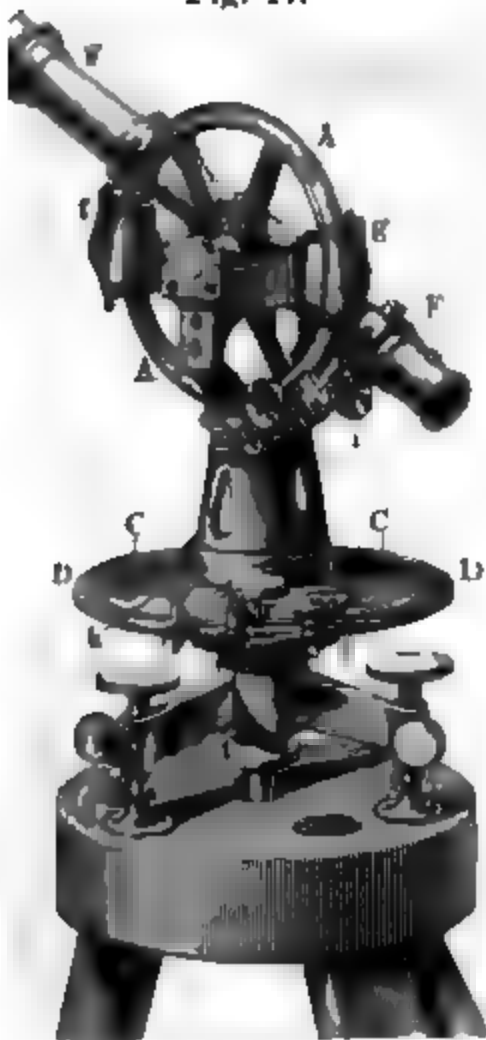
Um den letzteren Uebelstand zu vermeiden, bringt man an der höchsten Spitze des Gnomons eine mit einer kleinen Oeffnung versehene Metallplatte an. Eine derartige Vorrichtung ist in Fig. 10 dargestellt. Die Scheibe wirft einen Schatten, in dessen Mitte ein rundes,

Fleckchen erscheint, welches durch die Oeffnung *s* hindurch vom Sonnenlicht beschienen wird. Die Mitte dieses erleuchteten Fleckchens, welche sich mit ziemlicher Genauigkeit ermitteln lässt, entspricht der Spitze des Stabschattens in Fig. 9. Ein von der Oeffnung *s* herabhängendes Bleilothe bezeichnet den Punkt *M* auf der horizontalen Ebene, welcher gerade senkrecht unter *s* liegt. Die Länge *Ms* entspricht dann der Länge des verticalen Stabes, welcher den gewöhnlichen Gnomon bildet.



Fig. 10.

Auch nach diesem Princip hat man Gnomone im grossen Maassstabe ausgeführt, indem man die durchbohrte Metallplatte in der Wand oder in der Decke eines grossen, innen freien Gebäudes, etwa einer Kirche, anbrachte und das Bild der Sonne auf den gegenüberliegenden Fussboden fallen liess. Einen solchen Gnomon errichtete Paul Toscanelli im Jahre 1467 in der Kuppel des Domes zu Florenz. Die Oeffnung war 277 Fuss über dem Fussboden der Kirche angebracht.

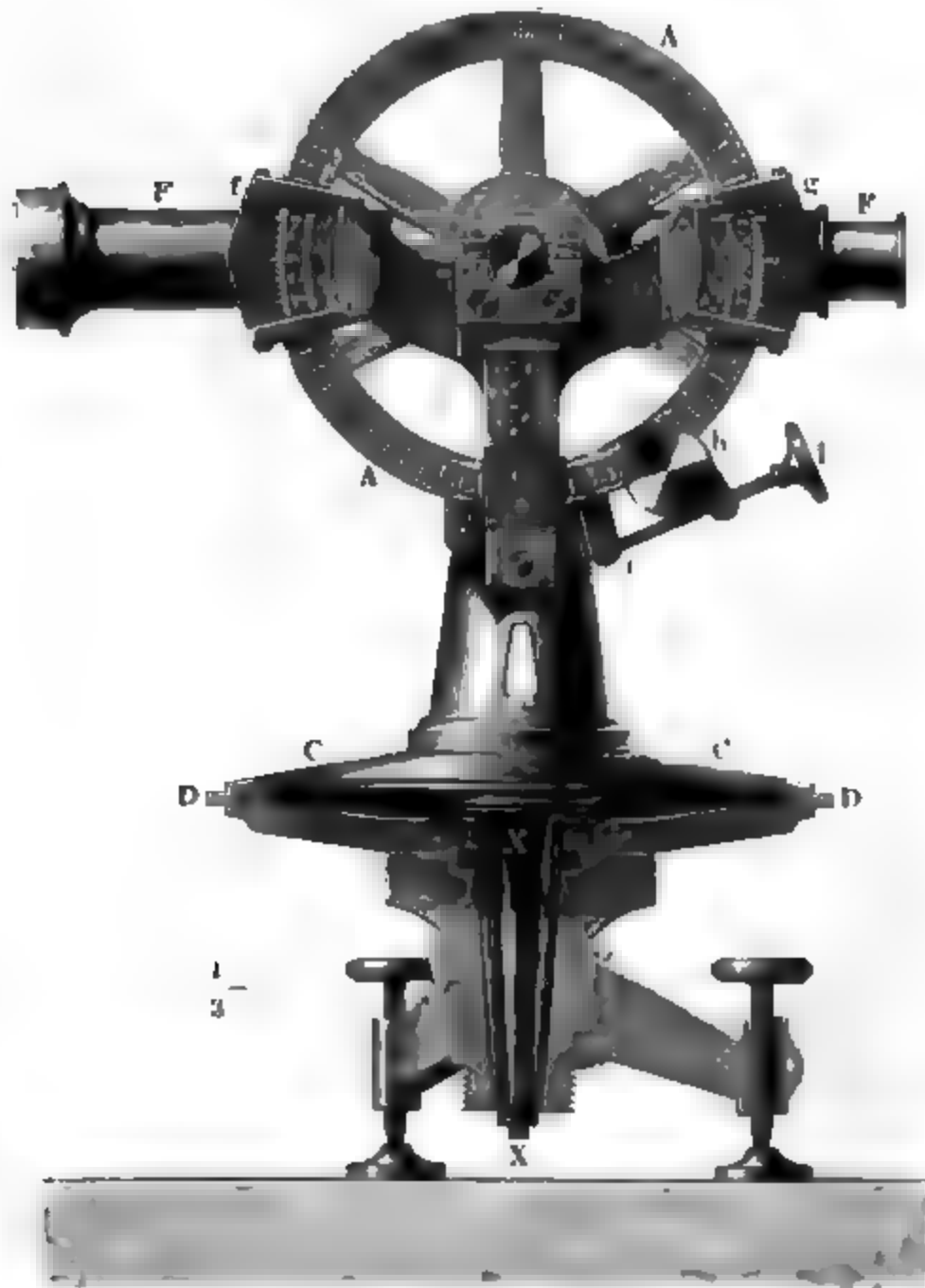


In älteren Sternwarten findet man noch solche Gnomone, in neueren Zeiten hat man sie verlassen, weil man jetzt weit genauere Mittel hat, die Richtung der Mittagslinie zu bestimmen und Sonnenhöhen zu messen.

Das Theodolit. Ein ungleich genaueres Mittel, sowohl Höhe und Azimut zu messen, als auch den Meridian zu bestimmen, bietet das Theodolit dar. Ein solches Instrument ist in Fig. 11 perspectivisch und in Fig. 12 (a. f. S.) in grösserem Maassstabe in geometrischem Aufriiss dargestellt; es besteht im Wesentlichen aus zwei getheilten Kreisen, von denen der eine vertical, der andere horizontal ist. Der Verticalkreis *A* ist sammt dem Fernrohr *F* an einer horizontalen Axe befestigt und beide sind um diese Axe drehbar, so dass die gegenseitige Stellung des getheilten Verticalkreises und des Fernrohrs nicht geändert werden kann. Zu beiden Seiten des

drehbaren Kreises sind feste Nonien f und g angebracht. Wenn Instrument gehörig aufgestellt und justirt ist, sollen die Nullpunkte der Nonien g und f auf die Punkte 0 und 180 der Theilung zeigen, bald die Axe des Fernrohrs vollkommen wagerecht steht; d

Fig. 12.



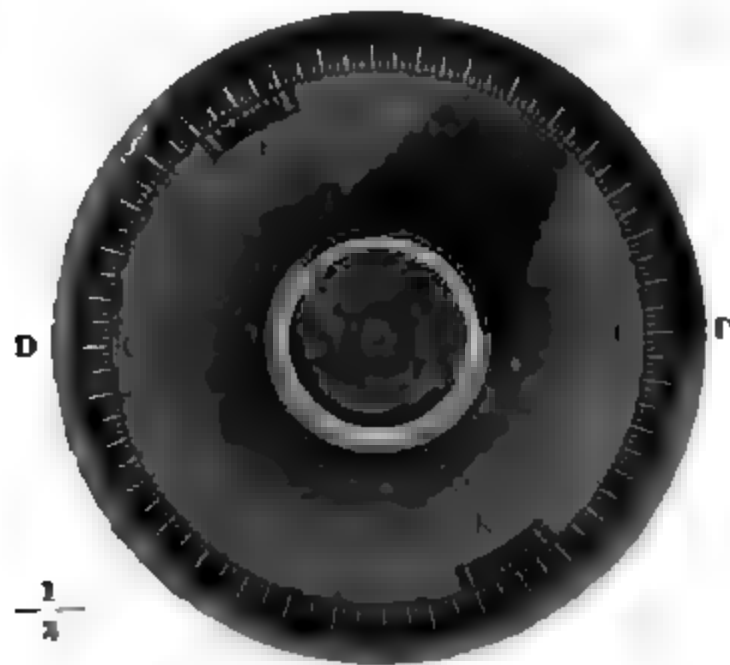
man dann das Fernrohr aus seiner horizontalen Richtung heraus, u auf einen höher oder tiefer gelegenen Punkt zu richten, so kann die Grösse dieser Drehung an den Nonien ablesen.

Die Stellschraube h dient, um bei jeder beliebigen Neigung Fernrohrs dieses sammt dem Verticalkreis festzustellen. Die Mikroschraube i dient, um feinere Verstellungen des Fernrohrs in seiner verticalen Umdrehungsebene zu bewirken.

Das Gestell, welches die horizontale Axe des Fernrohrs trägt

auf einem horizontalen um den verticalen Zapfen X drehbaren Kreise C befestigt, welcher der Alhidadenkreis oder die Alhidade genannt wird. Dieser Kreis dreht sich genau passend innerhalb eines mit dem Fussgestell des ganzen Apparates fest verbundenen, ringsum mit einer Gradtheilung versehenen kreisförmigen Ringes D , welcher der Limbus genannt wird. Die Alhidade trägt an ihrem äusseren Rande zwei Nuten K , welche sich bei der Drehung der Alhidade längs der Theilung des Limbus hinbewegen und welche man deutlicher in Fig. 13 sieht, welche die Alhidade und den Limbus von oben gesehen darstellt, jedoch

Fig. 13.



mit Weglassung der Stellschraube r , mittelst deren man die Alhidade an den Limbus anklammern, und der Mikrometerschraube t , mittelst deren man eine feinere Verschiebung der Alhidade bewerkstelligen kann.

Um den Limbus und die Alhidade gehörig wagerecht zu stellen, was man an einer in der Mitte der Alhidade angebrachten Dosenlibelle erkennen kann, dienen die drei Fusschrauben (in Fig. 11 sowohl, wie in Fig. 12 sind deren nur zwei sichtbar), welche das ganze Instrument tragen.

Bemerken wir noch, dass die Theodolitfernrohre stets astronomische Fernrohre sind (Lehrb. der Physik, 7. Aufl., Bd. I., S. 723), dass sie also alle Gegenstände verkehrt zeigen und dass sie mit einem Fadenkreuz versehen sind. An der Stelle nämlich, an welcher das Bild des Objectives zu Stande kommt, ist eine in der Mitte mit einer runden

Fig. 14. Oeffnung versehene Metallscheibe angebracht; über diese Oeffnung sind dann zwei sehr feine Fäden (in der Regel Spinnenfäden) sich rechtwinklig kreuzend ausgespannt, Fig. 14. Will man einen bestimmten Gegenstand, etwa einen Stern, einvisiren, so richtet man das Fernrohr so, dass das Bild des zu beobachtenden Gegenstandes genau in den Durchschnitte-



punkt der Fäden fällt. Man sieht, dass auf diese Weise die Visirlinie des Fernrohrs vollkommen genau bestimmt ist.

Will man durch das Theodolitfernrohr die Sonne beobachten, so muss man vor dem Ocular ein dunkelfarbiges Glas, das Sonnenglas, anbringen, weil das Auge ohne ein solches den Glanz des Sonnenlichtes nicht ertragen würde.

- 10 Bestimmung der Mittagslinie mit Hülfe des Theodolits.** Um nun mit Hülfe des Theodolits die Mittagslinie zu bestimmen, verfährt man in folgender Weise: Man richtet das Fernrohr des Instrumentes einige Zeit, n Stunden, vor der Culmination der Sonne so, dass der Gipfel des Sonnenrandes genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Der Höhenkreis und der Horizontalkreis werden nun mittelst der Stellschrauben h und r festgestellt und dann der Nonius des Horizontalkreises abgelesen. Durch diese Ablesung ist die Lage der Verticalebene des Fernrohrs für den Moment dieser ersten Beobachtung vollkommen bestimmt.

Die Sonne schreitet nun nach Westen vor, während zugleich ihre Höhe bis zur Culmination zunimmt. Nach der Culmination nimmt die Höhe der Sonne wieder ab, n Stunden nach ihrer Culmination wird die Sonne wieder genau dieselbe Höhe haben, wie zur Zeit der ersten Beobachtung. Wenn man also den Höhenkreis und das Fernrohr unverändert in der Stellung gegen den Horizont lässt, die sie bei der ersten Beobachtung einnahmen, so wird man, wenn nahezu die Zeit von n Stunden nach der Sonnenculmination verflossen ist, die Sonne wieder im Gesichtsfelde des Fernrohrs finden, wenn man die Alhidade sammt Höhenkreis und Fernrohr um die verticale Axe des Instrumentes nach Westen dreht. Zunächst wird nun der Gipfel des Sonnenrandes wieder genau hinter den verticalen Faden des Fadenkreuzes gebracht und dann folgt man der Sonne, indem man den Horizontalkreis langsam und zwar zuletzt mit Hülfe der Mikrometerschraube t gegen Westen fortschiebt, bis zu dem Moment, in welchem die Sonne so tief gesunken ist, dass der horizontale Faden wieder den Sonnenrand tangirt, der Gipfel des Sonnenrandes also wieder genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Man liest nun abermals den Nonius des Alhidadenkreises ab und erfährt durch diese zweite Ablesung den Winkel, welchen die Verticalebene des Fernrohrs bei der ersten Beobachtung mit der Verticalebene des Fernrohrs bei der zweiten Beobachtung macht. Halbirt man diesen Winkel, so ist dann eine durch die Halbirungslinie gelegte Verticalebene die Ebene des Meridians.

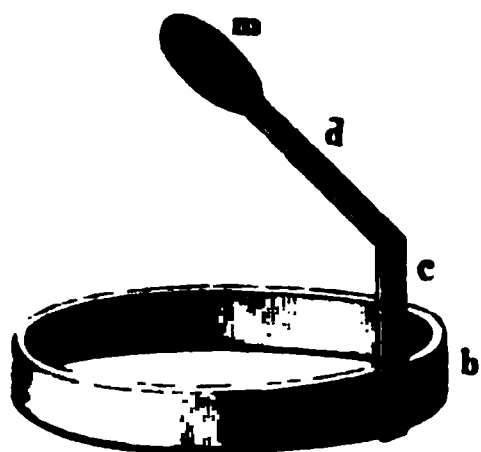
Hat z. B. der Nonius des Alhidadenkreises bei der Morgensbeobachtung auf 152° gestanden, bei der Nachmittagsbeobachtung aber auf 226° , so wird sich die Ebene des Fernrohrs und des Höhenkreises im Meridian befinden, wenn man den Alhidadenkreis so stellt, dass der Nonius desselben auf 189° zu stehen kommt.

Wegen der von der täglichen Bewegung unabhängigen Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe (die wir im dritten Capitel näher besprechen werden) giebt diese Bestimmungsweise des Meridians mittelst correspondirender Sonnenhöhen nur dann genaue Resultate, wenn man eine Beobachtung um die Zeit der längsten oder der kürzesten Tage anstellt. Am fehlerhaftesten wird das Resultat zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen. Von diesem Uebelstande ist nun die Bestimmung des Meridians durch correspondirende Sternhöhen ganz frei. Das Verfahren ist genau dasselbe, wie wir es für die Sonne kennen gelernt haben; man stellt man nicht auf den Gipfel des Sonnenrandes, sondern auf den beobachtenden Stern ein.

Es ist leicht, zur Nachtzeit irgend einen Stern erster, zweiter oder dritter Grösse in das Gesichtsfeld des Fernrohrs zu bringen; zur Nachtzeit aber ist das Fadenkreuz, welches bei Tage scharf vor dem hellen Hintergrund erscheint, ganz unsichtbar, wenn man es nicht auf künstliche Weise erleuchtet.

Zur Beleuchtung des Fadenkreuzes in Theodolitfernrohren dürfte wohl folgende Methode die geeignetste sein: Auf das Objectivende des Fernrohrs wird ein leichter Messingring *ab*, Fig. 15, aufgeschoben; an diesem

Fig. 15.



ist ein Messingstäbchen *cd* befestigt, welches gerade der Mitte des Ringes *ab* gegenüber ein elliptisches Metallblättchen *m* trägt. Dieses Metallblättchen ist auf der dem Ring *ab* zugewandten Seite weiss angestrichen. Durch eine in der Nähe seitlich aufgestellte Kerzenflamme wird diese kleine weisse Fläche erhellt und wirft dann hinlänglich Licht in das Fernrohr, um das Fadenkreuz zu erleuchten, welches nun hell auf dunklem Grunde erscheint.

Von dem Sterne fallen nun noch hinlänglich viel Strahlen neben dem Blättchen *m* vorbei auf das Objectiv des Fernrohrs, um ein deutliches Bild des Sternes zu geben.

Hat man einmal nach der angegebenen Methode den Punkt des Limbus ermittelt, auf welchen man den Nonius der Alhidade einstellen muss, damit die verticale Drehungsebene des Fernrohrs mit der Ebene des Meridians zusammenfällt, so bleibt noch übrig, die Richtung der Mittagslinie für allemal zu fixiren, damit man das Instrument wieder wegnehmen kann, ohne bei einer späteren Aufstellung an derselben Stelle den Meridian von Neuem bestimmen zu müssen.

Die Fixirung der Mittagslinie geschieht dadurch, dass man das in die Ebene des Meridians gebrachte Fernrohr gegen den Horizont neigt und nun sieht, ob sich auf demselben oder auf der Erdoberfläche nicht irgend ein Gegenstand, etwa eine Thurmspitze, eine Mauerkante, eine Giebelspitze, ein Blitzableiter u. s. w., findet, welcher gerade im Meridian

liegt, welcher also den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes passirt, wenn man das Fernrohr um seine horizontale Axe dreht. Ein solcher Punkt wird nun das Meridianzeichen genannt. Eine verticale Ebene, welche durch den Aufstellungsort des Instrumentes und das Meridianzeichen geht, ist die Ebene des Meridians.

Wenn sich kein passendes Meridianzeichen vorfindet, so muss man ein solches herrichten, indem man etwa einen verticalen Strich an der Wand eines passend gelegenen Hauses zieht. Das zweckmässigste Meridianzeichen ist aber immer ein 1 Meter langer, in Centiment getheilter Maassstab, welchen man in horizontaler Lage und entsprechender Entfernung so befestigt, dass die Meridianebene des Instruments seine Länge ungefähr halbirt. Ist dieser Maassstab einmal gehörig befestigt, so kann man durch später wiederholte Bestimmungen der Meridianebene leicht ermitteln, welcher Theilstrich desselben es eigentlich sei, der genau die Richtung der Mittagslinie bezeichnet.

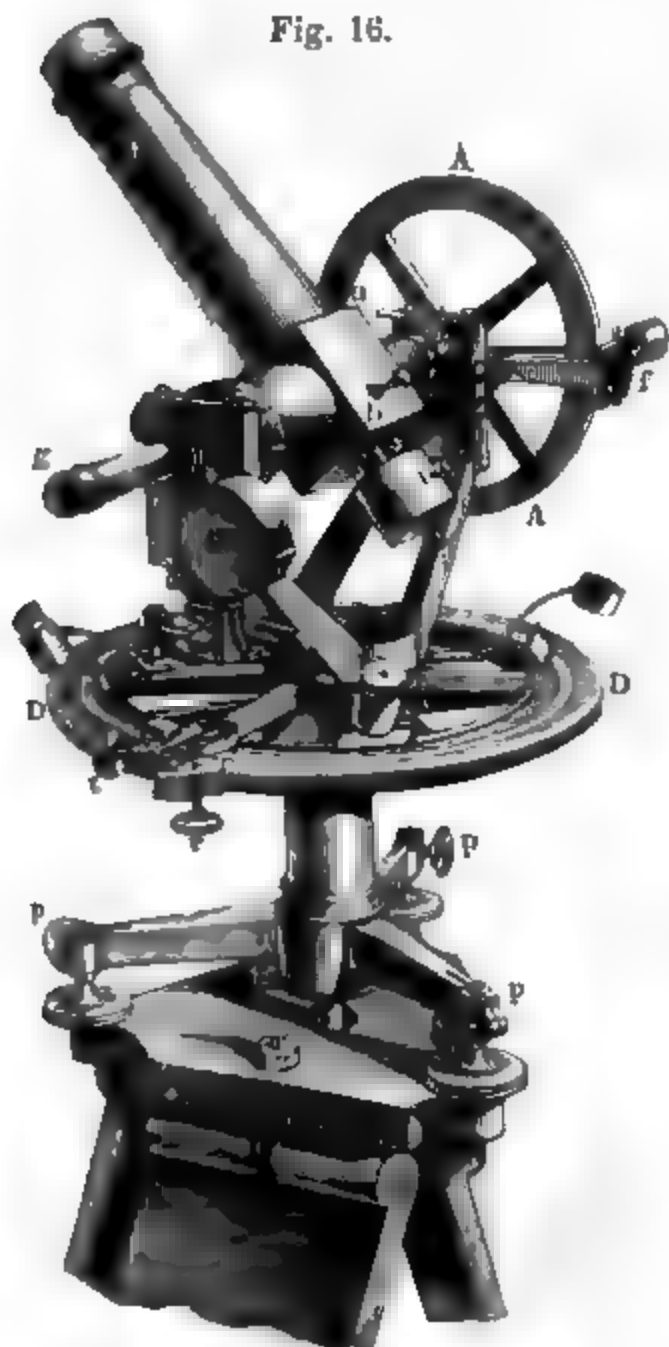
11 Theodolit mit gebrochenem Fernrohr. Das Theodolit, welches wir in §. 9 kennen lernten, ist ein solches von möglichst einfacher Construction, wie man sie mehr zu geodätischen Messungen als zu astronomischen Beobachtungen anwendet. Zu letzterem Zwecke verwendet man wo möglich grössere Kreise an. Durch das Fernrohr des Theodolits Fig. 11 kann man Sterne, deren Höhe 45 bis 50° beträgt, nicht beobachten. Da nun die Beobachtung gerade dieser Sterne in manchen Fällen von grosser Wichtigkeit ist, so hat man das gerade Fernrohr mit einem gebrochenen vertauscht.

Fig. 16 stellt ein etwas grösseres Theodolit mit gebrochenem Fernrohr dar. Alle Theile dieses Instrumentes, welche auch an dem Theodolit Fig. 11 vorkommen, sind mit den gleichen Buchstaben bezeichnet. So ist *A* der Höhenkreis, *F* das Fernrohr, *f* der eine Nonius des Höhenkreises. *C* ist der Alhidadenkreis, welcher hier in der Mitte durchbrochen ist; *D* ist der Limbus. Die Alhidade ist hier mit 4 Nonien versehen. Ueber jedem dieser Nonien ist ein kleiner Schirm von durchscheinendem Papiere angebracht, was eine bessere Beobachtung des Nonius bewirkt. Die Nonien werden nicht mit blossen Auge, sondern durch Loupen abgelesen.

Die Einrichtung des gebrochenen Fernrohrs ist folgende: Das Ocularende *g* des Rohres macht einen rechten Winkel mit dem Objectiven *F*. Beide Enden sitzen auf einem würfelförmigen hohlen Körper, in dessen Innerem sich ein Spiegel befindet, welcher sowohl gegen die Axe des Objectivendes als auch gegen die Axe des Ocularendes um 45° geneigt ist. Dieser Spiegel wird durch ein rechtwinkliges, gleichschenkliges Glasprisma gebildet, dessen eine Kathetenfläche gegen das Objectiv, die andere gegen das Ocular gerichtet ist, während die Hypotenusenfläche

die Richtung der Diagonalen ab hat. Die vom Objectiv kommenden Strahlen treten an der Vorderfläche dieses Prismas ein, ohne eine merk-

Fig. 16.



liche Ablenkung zu erfahren; an der 45° gegen die Axe des Objectivs geneigten Hinterfläche erleiden sie eine totale Reflexion (Lehrb. der Phys. 7. Aufl. Bd. I. S. 542) und gelangen so, nachdem sie an der zweiten Kathetenfläche fast ohne Ablenkung ausgetreten sind, zu dem Ocular. Das Ocularende des Fernrohrs bildet nun selbst ein Stück der horizontalen Umdrehungsaxe des Höhenkreises, man mag also das Objectivende des Fernrohrs um diese Axe drehen, wie man will, so bleibt doch die Stellung des Oculars ungeändert; man kann also mit gleicher Bequemlichkeit alle Sterne beobachten, welches auch ihre Höhe sein mag.

Die Metallmassen x und y dienen nur als Gegengewicht für das Objectivende des Fernrohrs.

Mit einem solchen Instrumente kann man nun die Mittagslinie noch weit ge-

nauer bestimmen, als es nach der Methode der correspondirenden Höhen möglich ist. Das Instrument wird an einem Orte aufgestellt, an welchem die Aussicht nach Norden hin bis nahe zum Zenith frei ist. Der Azimutalkreis wird dann so eingestellt, dass die Verticalebene des Fernrohrs nahezu mit dem Meridian zusammenfällt, und nun beobachtet man an einer gleichförmig gehenden Uhr die Zeiten der auf einander folgenden oberen und unteren Culmination eines Circumpolarsternes, d. h. die Zeit, in welcher der Stern in seiner grössten Höhe den verticalen Faden des Fadenkreuzes passirt, und dann wieder den Zeitpunkt, in welchem derselbe Stern in seiner tiefsten Stellung das Fadenkreuz passirt. Wenn die verticale Drehungsebene des Fernrohrs genau in den Meridian fällt, so muss die von einem Beobachtungsmoment zum anderen verstrichene Zeit genau 12 Sternstunden betragen. Ist dies nicht der Fall, so ist

dies ein Beweis, dass die Verticale des Fernrohrs noch einen Winkel dem Meridian macht. Beträgt die Zeit von dem oberen bis zum unteren Vorübergang weniger als 12 Sternstunden, so muss die Alhidade ein wenig in der Richtung von West nach Nord gedreht werden, um die Drehungsebene des Fernrohrs in den Meridian zu bringen; nach der gegengesetzten Seite aber, wenn die Zeit von dem oberen bis zum unteren Vorübergang mehr als 12 Sternstunden beträgt.

Hätte man z. B. beobachtet

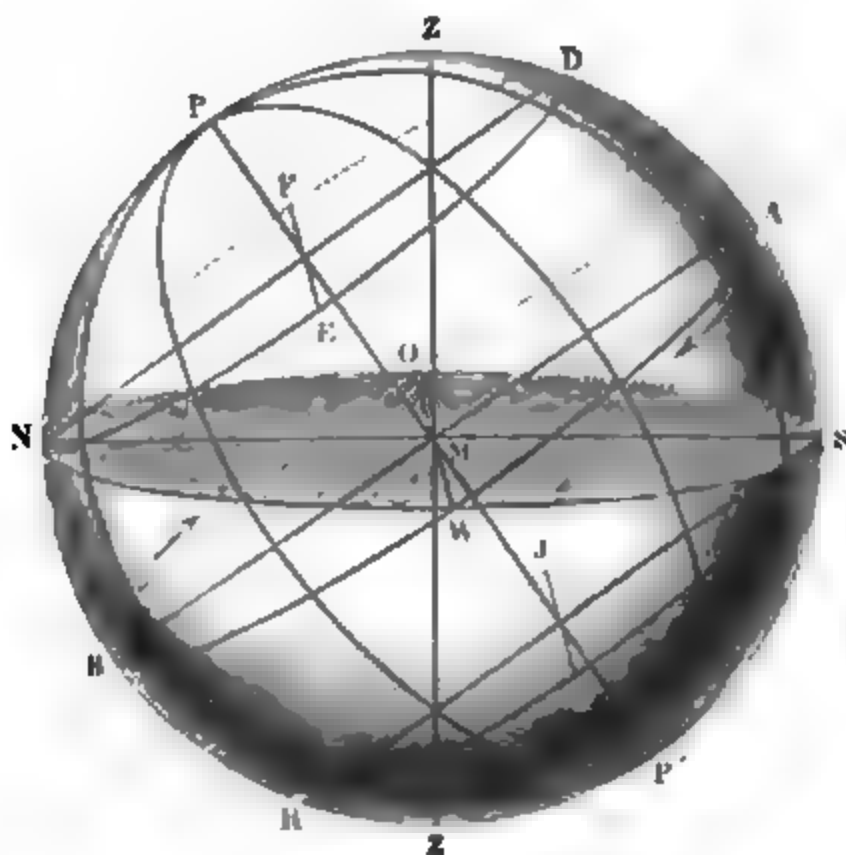
den oberen Vorübergang des Polarsterns $0^h\ 58'\ 20''$,

den unteren „ „ „ $12\ 58\ 50$,

so würde man aus diesen Beobachtungen schliessen, dass man die Alhidade um einen ganz kleinen Winkel (den man auch berechnen kann) in der Richtung von Ost nach Nord hin drehen müsse, um die verticale Drehungsebene des Fernrohrs in den Meridian zu bringen.

12 Declination, Stundenwinkel und Rectascension. durch die Weltaxe PP' , Fig. 17, gelegten Ebenen schneiden die

Fig. 17.



die Kugel in größten Kreisen, welche den Namen der Declinationkreise oder der Stundenkreise führen. Durch jeden Stern kann sich ein Stundenkreis gelegt denken und alle diese Stundenkreise stehen rechtwinklig auf der Ebene des Aequators.

Der Viertelkreis PEC , Fig. 18, ist ein Theil des dem Sterne gehörigen Stundenkreises. Dasjenige Bogenstück EC des Stunden-

welches zwischen dem Sterne und dem Aequator liegt, heisst die Declination oder die Abweichung des Sternes.

Die Declination eines Sternes ist nördlich oder südlich, je nach derselben auf der nördlichen oder südlichen Halbkugel des Himmels

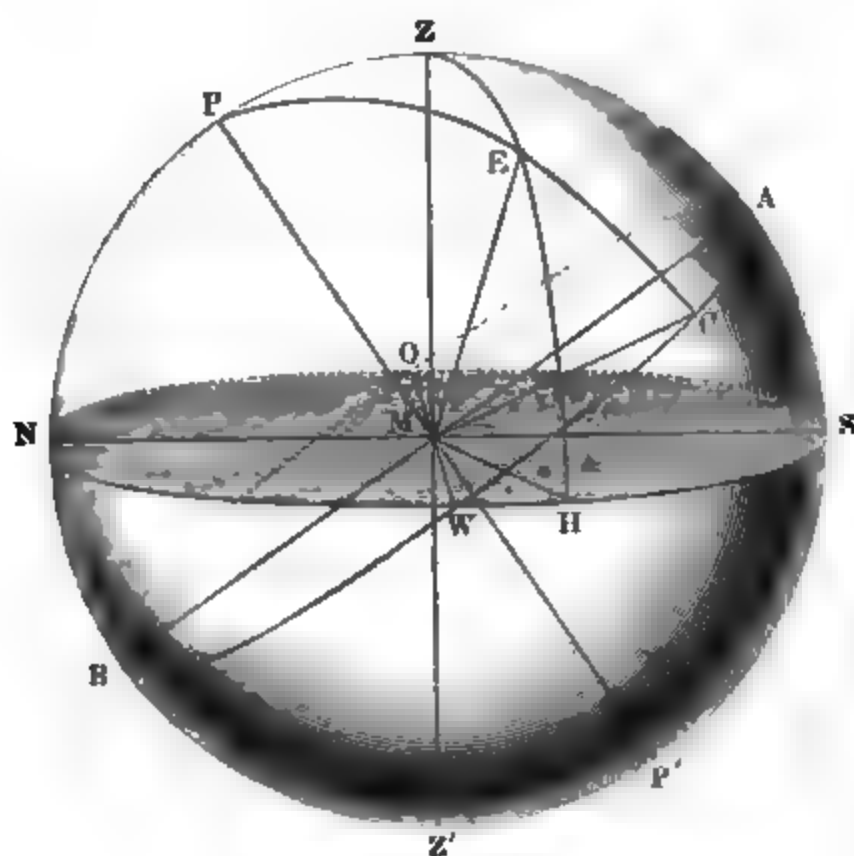
Der Bogen PE vom Sterne bis zum Pol heisst die Poldistanz. stanz und Abweichung ergänzen sich zu 90° .

Während der täglichen Bewegung des Himmels ändert sich die Declination der Gestirne nicht; die Abweichung eines Fixsternes ist also eine unveränderliche Grösse, weil ja jeder Stern einen Kreis beschreibt, welcher mit dem Aequator parallel ist.

Alle solche Kreise, welche man sich auf der Himmelskugel parallel zum Aequator gezogen denkt, werden Parallelkreise genannt.

Der Winkel, welchen der Stundenkreis PEC des Sternes E mit Meridian PZA , Fig. 18, macht, wird der Stundenwinkel des

Fig. 18.



des E genannt. Der Stundenwinkel wird durch den Bogen AC auf dem Äquator gemessen, dessen ganzer Umfang entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden und deren Unterabtheilungen getheilt ist; es sind also

$$60 \text{ Zeitminuten} = 15^\circ$$

$$4 \text{ " } = 1^\circ$$

$$1 \text{ Zeitminute} = 15 \text{ Bogenminuten}$$

$$1 \text{ Zeitsecunde} = 15 \text{ Bogensecunden.}$$

Die Zählung geschieht stets von dem Punkte A aus, in welchem der Meridian den Äquator schneidet, nach Westen hin.

Der in Zeit ausgedrückte Stundenwinkel eines Sternes, welcher sich immer nur auf einen bestimmten Moment bezieht, sagt aus, wie viel Stunden und Minuten (Sternzeit) bereits seit der letzten Culmination dieses Sternes verflossen sind.

Es ist klar, dass durch Stundenwinkel und Abweichung (Declination) für einen bestimmten Moment die Stellung eines Sternes am Himmelsgewölbe ganz in ähnlicher Weise bestimmt ist, wie durch Azimut und Höhe; während aber Höhe und Azimut eines Sternes sich gleichzeitig ändern, bleibt die Declination constant und nur der Stundenwinkel ändert sich, weil in jedem Augenblicke ein anderer Punkt des Aequators es ist, von welchem aus der Stundenwinkel gezählt wird.

Eine von der Zeit unabhängige Bestimmung der Sternörter am Himmel erhält man, wenn man die Winkel auf dem Aequator nicht von einem veränderlichen Punkte aus zählt; sondern von einem Punkte, welcher eine feste Stellung auf dem Aequator, also mit der ganzen Himmelskugel die tägliche Bewegung gemeinschaftlich hat. Zum Ausgangspunkt dieser Winkelzählung hat man den Seite 11 erwähnten Frühlingspunkt gewählt. Wir werden im dritten Capitel sehen, auf welche Weise dieser Punkt genau bestimmt werden kann.

Der in der Richtung von Süd nach Ost u. s. w. auf dem Aequator gezählte Winkel vom Frühlingspunkte bis zu dem Punkte, in welchen der Stundenkreis eines Sternes den Aequator trifft, wird die Rectascension oder die gerade Aufsteigung des Sternes genannt. Durch Rectascension und Declination ist die Stelle eines Sternes am Himmel vollkommen bestimmt.

Die Rectascension wird entweder in Graden oder in Stunden und Minuten ausgedrückt, wie wir dies schon beim Stundenwinkel gesehen haben. Die in Zeit ausgedrückte Rectascension eines Sternes giebt an wie viel Stunden und Minuten (Sternzeit) der fragliche Stern später culminirt als der Frühlingspunkt.

Folgendes ist die Rectascension (gerade Aufsteigung) und die Declination (Abweichung) einiger der ausgezeichnetsten Sterne.

N a m e n.	G e r a d e A u f s t e i g u n g.			A b w e i c h u n g.		
α Andromedae	0 ^h	1'	—''	+	28°	17' —''
α Arietis	1	59	—	+	22	46 —
α Ceti	2	55	42	+	3	31 3
α Persei	3	14	' —	+	49	20 —
α Tauri (Aldebaran)	4	28	36	+	16	12 49
α Aurigae (Capella)	5	6	59	+	45	50 42
β Orionis	5	7	34	—	8	22 23
β Tauri	5	17	8	+	28	28 47
α Orionis	5	47	19	+	7	22 32
α Canis majoris (Sirius)	6	38	45	—	16	31 16
α Geminorum	7	25	20	+	32	12 6
α Canis minoris (Procyon)	7	31	42	+	5	35 32
β Geminorum	7	36	26	+	28	22 19
α Hydrae	9	20	28	—	8	1 58
α Leonis (Regulus)	10	—	39	+	12	40 26
α Ursae majoris	10	54	44	+	62	31 57
β Leonis	11	41	39	+	15	22 57
β Virginis	11	43	8	+	2	34 52
γ Ursae majoris	11	46	11	+	54	30 2
α Virginis (Spica)	13	17	33	—	10	24 13
α Bootis (Arcturus)	14	9	3	+	19	56 21
α Librae	14	42	40	—	15	23 30
α Coronae	15	28	33	+	27	12 19
α Scorpis (Antares)	16	20	31	—	26	6 23
α Lyrae (Wega)	18	32	2	+	38	39 3
α Aquilae (Atair)	19	43	42	+	8	29 18
α Cygni	20	36	29	+	44	45 49
α Piscis australis	22	49	38	—	30	23 28
α Ursae minoris (Polaris)	1	6	30	+	88	32 11

Das Zeichen + bezeichnet eine nördliche, — eine südliche Declination.

Auf Himmelsgloben findet man in der That den Aequator entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden (1^h = 15°) und Minuten getheilt. Der Nullpunkt dieser Theilung ist der Frühlingspunkt. Der durch den Frühlingspunkt gezogene Stundenkreis ist dann gleichfalls in Grade getheilt, so dass 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum

Nordpol und 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum Südpol gezählt sind. Auf diesem Stundenkreise kann dann die Declination für jeden einzelnen Parallelkreis abgelesen werden.

In der Sternkarte Tab. IV. erscheint der Aequator als gerade Linie, man sieht ihn hier in 360 Grade getheilt. Die entsprechende Theilung in Stunden und Minuten findet sich am unteren Rande der Karte. Jeder, durch den Nullpunkt der Theilung des Aequators (den Frühlingspunkt) gelegten Verticalen findet man dann eine weitere Theilung, durch welche die Declinationen gemessen werden,

Auf der Karte Tab. III. kann man die Rectascensionen am Rande ablesen, die Declinationen auf der vom Nordpol nach dem Nullpunkte der Theilung am Rande gezogenen geraden Linie ablesen.

Nach diesen Erläuterungen wird es eine zweckmässige Uebung sein, nach den in der obigen Tabelle mitgetheilten Werthen der Rectascension, Declination und der Abweichung die dort verzeichneten Sterne aufzusuchen.

Um die in Zeit angegebene Rectascension rasch in Bogen- und Winkelwerthe umwandeln zu können, dient folgende Tabelle:

1 ^{sec}	Zeit	=	15''	Bogen
4 ^o	"	=	1'	"
1 ^m	"	=	15'	"
2 ^m	"	=	30'	"
3 ^m	"	=	45'	"

Minuten	Grade	Minuten	Grade
4 Zeit	1 Bogen	32 Zeit	8 Bogen
8 "	2 "	36 "	9 "
12 "	3 "	40 "	10 "
16 "	4 "	44 "	11 "
20 "	5 "	48 "	12 "
24 "	6 "	52 "	13 "
28 "	7 "	56 "	14 "
Stunden	Grade	Stunden	Grade
1 Zeit	15 Bogen	13 Zeit	195 Bogen
2 "	30 "	14 "	210 "
3 "	45 "	15 "	225 "
4 "	60 "	16 "	240 "
5 "	75 "	17 "	255 "
6 "	90 "	18 "	270 "
7 "	105 "	19 "	285 "
8 "	120 "	20 "	300 "
9 "	135 "	21 "	315 "
10 "	150 "	22 "	330 "
11 "	165 "	23 "	345 "
12 "	180 "	24 "	360 "

Es sei z. B. auf Tab. IV. α leonis aufzusuchen. Seine Rectascension ist 10^h (die Secunden müssen bei der Kleinheit der Karte unberücksichtigt bleiben) oder 150^0 ; man geht also vom Frühlingspunkt aus auf dem Aequator nach der Linken bis zu dem mit 150 bezeichneten Punkte, errichtet in demselben ein Perpendikel, auf welchem man dann mit dem Zirkel die Declination von $12\frac{3}{4}$ Grad nach Norden abzumessen hat, um den Ort des Regulus zu finden.

Mittagsrohr und Mittagskreis. Wir müssen nun sehen, auf 13 welche Weise Rectascension und Declination der Gestirne mit Genauigkeit ermittelt werden kann.

Wenn ein Theodolit so aufgestellt ist, dass die verticale Ebene, in welcher sich das Fernrohr drehen kann, genau in die Ebene des Meridians fällt, so kann man an diesem Instrumente mit Hülfe einer guten Uhr genau den Zeitpunkt beobachten, an welchem irgend ein bestimmter Fixstern den Meridian passirt.

Man kann eine solche Beobachtung selbst bei Tage machen; denn obgleich man, während die Sonne am Himmel ist, die Sterne mit blossem Auge nicht sieht, so sind doch durch ein Fernrohr bei Tage Sterne erster, zweiter, ja selbst dritter Grösse sichtbar.

Hat man nun an einem Tage die Culmination zweier Sterne beobachtet, so ist die Zeit (nach Sternzeit gemessen), welche zwischen der Culmination des ersten und der des zweiten verstreicht, die in Zeit ausgedrückte Differenz der Rectascensionen beider Sterne.

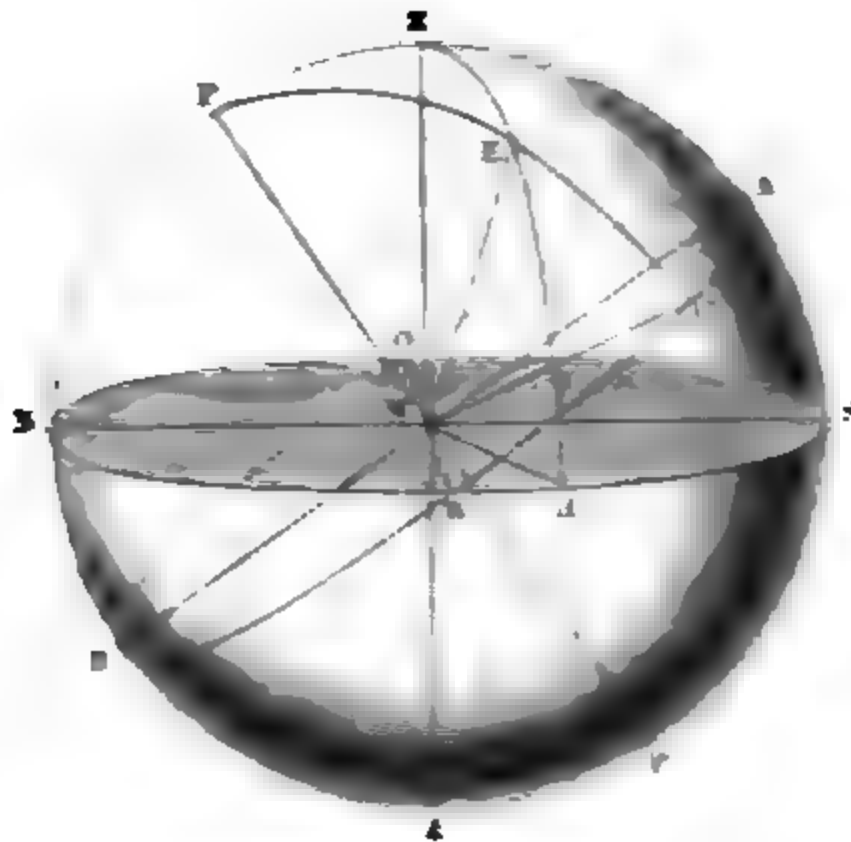
Hätte man z. B. an einem bestimmten Tage die Culmination von α arietis an einer nach mittlerer Sonnenzeit gehenden Uhr um $4^h 30' 18''$ Nachmittags beobachtet, die Culmination von α tauri aber um $6^h 58' 28''$, so ist der fragliche Zeitunterschied $2^h 28' 10''$ mittlerer Sonnenzeit oder $2^h 28' 35''$ Sternzeit. Die Rectascension von α tauri wäre demnach um $2^h 28' 35''$ oder als Winkel ausgedrückt um $37^0 9' 45''$ grösser als die Rectascension von α arietis, d. h. mit anderen Worten, der Stundenkreis von α arietis macht mit dem Stundenkreise von α tauri einen Winkel von $37^0 9' 45''$.

Ist also nur für einen einzigen Stern die Rectascension, d. h. der Abstand seines Stundenkreises vom Frühlingspunkt bekannt, so kann man, von diesem Sterne ausgehend, nach der eben angegebenen Weise leicht die Rectascension aller übrigen Sterne ermitteln. Auf welche Weise aber der Abstand irgend eines Stundenkreises vom Frühlingspunkte bestimmt wird, das kann erst im dritten Capitel besprochen werden.

Um die Declination eines Sternes zu bestimmen, hat man nur das Fernrohr so zu richten, dass der Stern zur Zeit seiner Culmination gerade hinter dem horizontalen Faden des Fernrohrs steht, und dann die Höhe des Sternes an dem Verticalkreise abzulesen; zieht man von dieser Höhe den Winkel ab, welchen der Aequator mit dem Horizont macht, also den Bogen AS , Fig. 19 a. f. S., so erhält man die Declination des Sternes.

Es ist $AS = PZ = 90^\circ - PN$, d. h. 90° — der Polhöhe, da man den Bogen NP oder den Winkel NMP , welchen die Weltaxe mit dem Horizont macht, die Polhöhe nennt.

Fig. 19



Gesetzt, man habe an einem Ort, wo welchen die Polhöhe gerade 50° beträgt, die Höhe v. u. u. nach zur Zeit der Culmination gleich $56^\circ 12' 49''$ gefunden, so ist die Declination dieses Sternes gleich $56^\circ 12' 49'' - 50^\circ = 6^\circ 12' 49''$, denn wenn die Polhöhe NP 50° beträgt, so ist $PZ = SA = 40^\circ$.

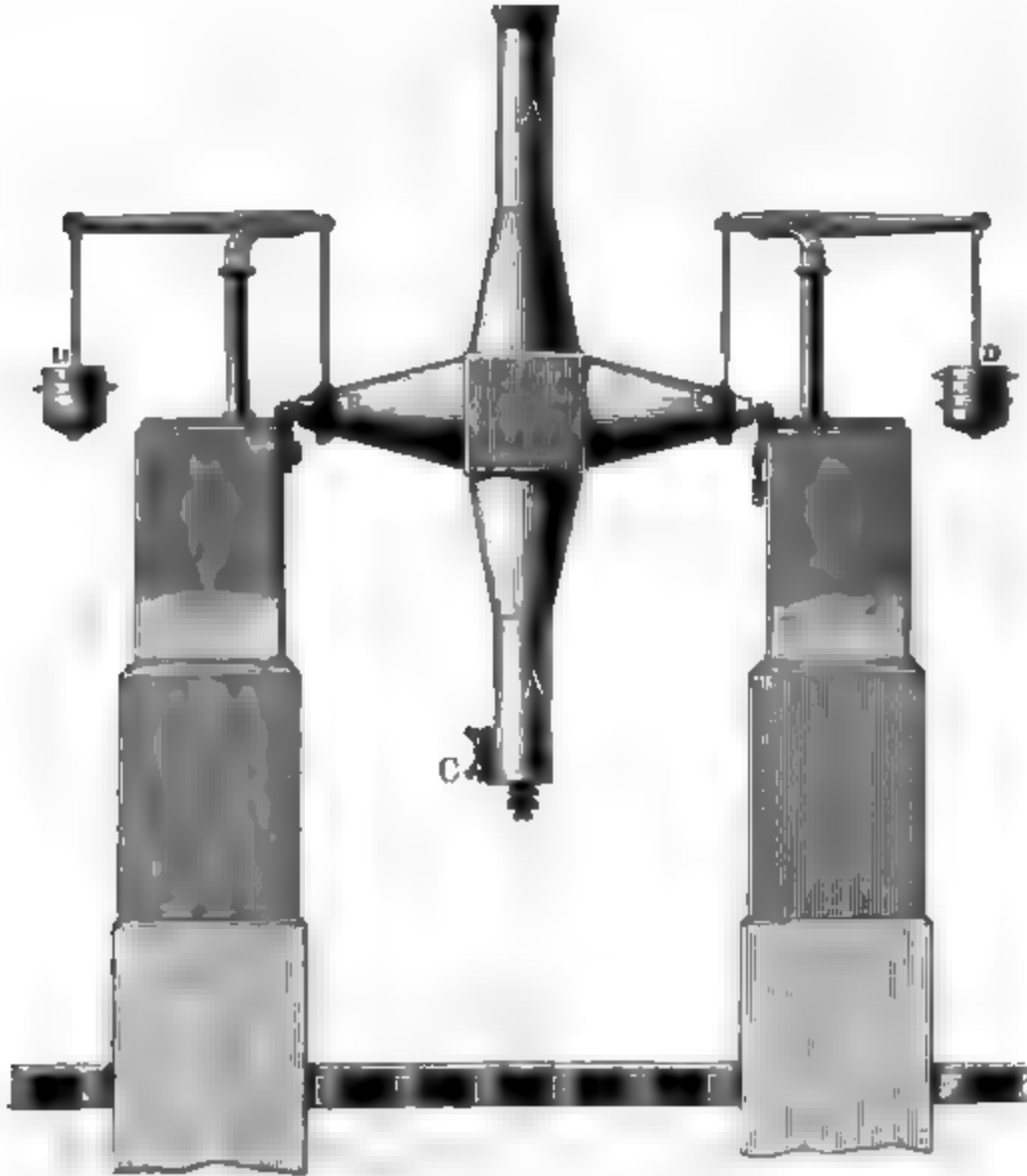
Da die Bestimmung der Declination und Rectascension der Gestirne durch Beobachtungen im Meridian zu den wichtigsten Aufgaben der praktischen Astronomie gehört, so wendet man zu diesem Zwecke auf größeren Sternwarten meist das Theodolit an, dessen Horizontalkreis hier sinnlich entsprechend ist, so fern andere ähnlich zu diesem Zwecke dienende Instrumente, welche den Namen der Mittagskreise und der Passageninstrumente führen.

Der Mittagskreis oder Meridiankreis ist ein mit einem Fernrohr verbundener Höhenkreis von bedeutenden Dimensionen (man hat solche von 3 bis zu 6 Fuß Durchmesser), der nur in der Ebene des Meridians drehbar ist, so daß das Instrument lediglich zur Bestimmung der Rectascension dienen, — auch auch der Höhenkreis wegfallen, es bedarf dann nur eines in der Meridianebene installierten Fernrohrs, welches dann ein Mittagsspiegel oder Passagen-Instrument wird.

Fig. 20 zeigt ein Mittagsspiegel, d. h. das Fernrohr, welches an einer sehr stark als Basis dient werden kann, die in zwei cylindrischen Zapfen ruht, deren Zapfen rufen zur Lagern, welche vom massiven

steinernen Pfeilern getragen werden. Diese Pfeiler sind für sich besonders fundamantirt und stehen mit dem übrigen Gebäude, in welchem das

Fig. 20.



Passageinstrument aufgestellt ist, in keiner Verbindung; sie gehen frei durch den Fußboden des Zimmers hindurch, dessen Schwankungen und zufällige Bewegungen also gar keinen Einfluss auf das Instrument haben können.

Die Einrichtung der Zapfenlager für die Axe *B* ist aus Fig. 21 und Fig. 22 zu ersehen. Das eine, Fig. 21, ist mittelst einer Schraube in verticaler Richtung verschiebbar, um eine vollkommene Horizontalität der

Fig. 21.

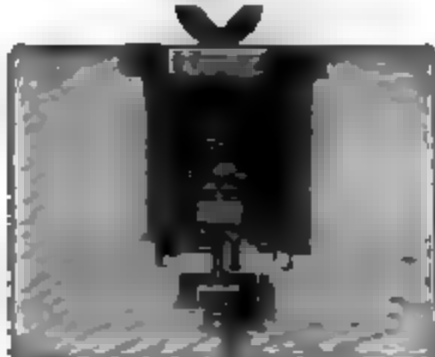
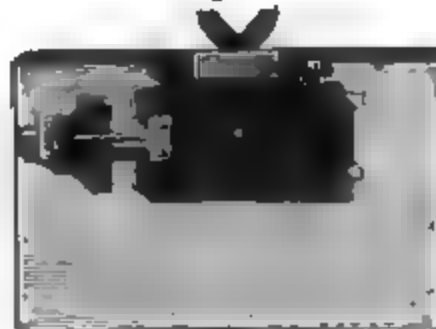


Fig. 22.

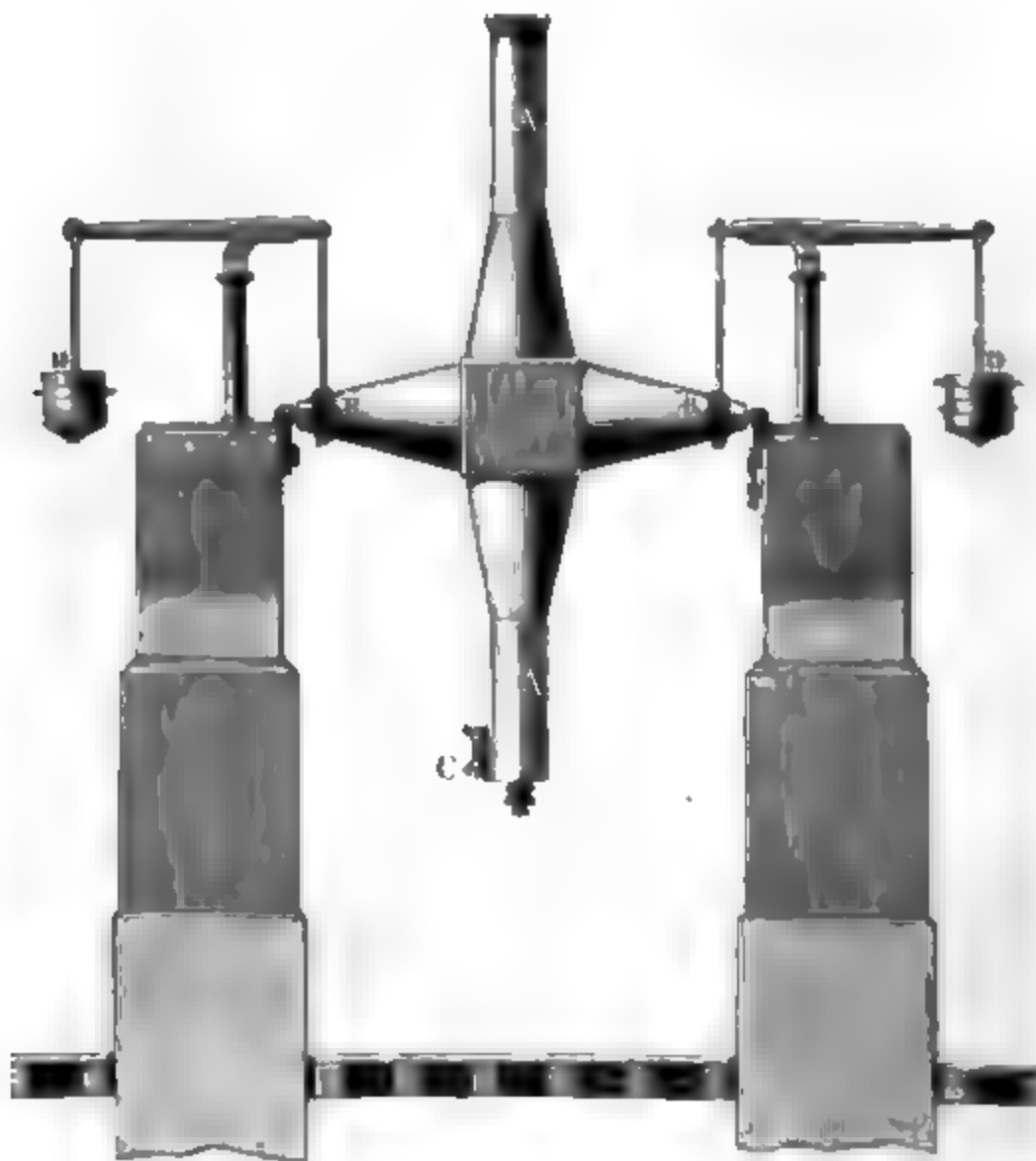


Axe *B* herstellen zu können; das andere, Fig. 22, kann dagegen in horizontaler Richtung verschoben werden, was nöthig ist, um die verticale Umdrehungsebene des Fernrohrs genau in den Meridian zu bringen. — Zur genaueren Einstellung in den Meridian dient die Beobachtung der oberen und der unteren Culmination von Circumpolarsternen (§. 11).

Damit nicht das ganze Gewicht des Fernrohrs auf den Zapfenlagern ruht, wodurch eine bedeutende Reibung und mit der Zeit eine Abnutzung der Zapfen und der Lager entstehen würde, ist das Fernrohr durch die Gegengewichte *D*, welche den grössten Theil seiner Last tragen, equilibriert.

Das Gebäude, in welchem das Passageinstrument aufgestellt ist, muss sowohl an der nördlichen und südlichen Wand als auch an der Decke mit einer schmalen Oeffnung versehen sein, gerade als ob es in der Ebene des Meridians durchsägt wäre. Diese Spalte, welche erlaubt, das Fernrohr nach allen im Meridian gelegenen Punkten des Himmels zu richten, braucht jedoch nicht beständig offen zu sein, sie ist vielmehr durch eine Reihe von Klappen geschlossen, von denen jede für sich geöffnet werden kann.

Fig. 23.



Da die Sterne bei Tage mit blossen Auge nicht sichtbar sind, man also nicht aufsuchen kann, so muss man im Stande sein, das Fernrohr auch ohne dies so zu richten, dass der zu beobachtende Stern im Gesichtsfelde des Fernrohres liegt. Man weiss vorher nahezu, in welcher Höhe über dem Horizont sich derselbe im Augenblick seiner Culmination befindet, man braucht also nur dem Mittagsrohr eine gleiche Neigung gegen den Horizont zu geben, damit der Stern das Gesichtsfeld passirt. Zu diesem Zwecke ist das Fernrohr mit einem kleinen Höhenkreise versehen, welcher entweder an der Axe *B* oder, wie es Fig. 23 zeigt, rechts am Rohre bei *C* angebracht ist. Ein solcher kleiner Kreis dient lediglich zum Richten des Fernrohres, und nicht zum Messen der Declination.

Das Passageinstrument wird stets in Verbindung mit einer Pendeluhr von grosser Genauigkeit gebraucht, deren Pendelschläge deutlich hörbar sind. Einige Zeit, bevor der Stern den verticalen Faden erreicht, ruft der Beobachter nach der Uhr, um sich die Stellung der Zeiger zu merken, und zählt dann, in das Fernrohr blickend, die Secunden nach den Schlägen der Uhr weiter, bis zum Moment, wo er den Stern den verticalen Faden passiren sieht.

Die Uhr giebt die Zeit unmittelbar auf Secunden genau an, durch die Beobachtung bringt es der Beobachter leicht dahin, noch Bruchtheile einer Secunde (etwa noch Zehntel-Secunden) zu schätzen.

Um eine grössere Genauigkeit der Resultate zu erlangen, hat man anstatt des einfachen Fadenkreuz, wie wir es S. 23 kennen gelernt haben, durch eine Reihe von Fäden ersetzt, welche so geordnet sind, wie man Fig. 24

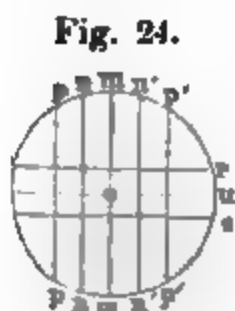


Fig. 24.

sieht. Neben dem mittleren verticalen Faden sind nämlich in gleichen Abständen auf jeder Seite noch zwei andere ausgespannt. Man beobachtet nun für jeden dieser fünf Fäden den Zeitpunkt, in welchem der Stern ihn passirt, und nimmt dann aus jenen fünf Beobachtungen das Mittel als den Zeitpunkt der Culmination des Sternes.

Von der grössten Wichtigkeit für Rectascensbestimmungen sind die galvanisch registrirenden Uhren, welche von dem Amerikaner Locke zuerst in Anwendung gebracht wurden. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer astronomischen Uhr eine galvanische Kette geschlossen, in deren Schliessungsbogen eine dem Morse'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeschaltet ist, so wird ein Stift bei jedem Secundenschlage einen Punkt auf dem mit gleichförmiger Geschwindigkeit vorwärts bewegten Papierstreifen machen. Die Geschwindigkeit, mit welcher beim Locke'schen Apparate der Papierstreifen voranging, war der Art, dass die Secundenpunkte ungefähr einen gleichen Abstand von einander abstanden.

Neben dem Elektromagneten dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehören.

ren, welche der Beobachter beliebig schliessen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schliessung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Um den Moment einer Sternculmination zu erhalten, schaut der Beobachter in das Fernrohr, während er den Finger über die Taste hält, die er in dem Momente niederdrückt, in welchem der Stern hinter den Faden tritt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifen markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben einem Secundenpunkte, so ist der Beobachtungsmoment genau durch eine ganze Secundenzahl gegeben. Trifft der Beobachtungspunkt nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittels einer Scala bestimmen, wieviel Zehntel und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorhergehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

Die grosse Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrierten Uhr, ausserdem aber gestattet diese Methode noch in gleicher Zeit zugleich mehr Beobachtungen anzustellen, als es vorher möglich war.

Bisher musste man die Uhr immer neben sich haben, um den Secundenschlag zu hören, konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hilfsmittel gegeben waren, eine sehr unständliche Sache; bei einer registrierten Uhr dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Uhrleitung leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht einmal erforderlich, dass die astronomische Uhr im Beobachtungssaal selbst ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmässiger, sie in einem W. Zimmer der Sternwarte — natürlich an einem bewilligten Fenster — aufzustellen, wo sie keiner grossen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und einen gleichmässigen Gang einhalten kann.

Eine registrierte Uhr lässt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfachen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Telegraph derselben Sterne durch den Meridian beobachtet wird, so lässt sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische Längeinformation ableiten.

Letztlich erweitert den Papierstreifen durch eine mit Ross geschobene Metallröhre, welche durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit an eine horizontale Axe gelagert wird. Auf beiden

Seiten der Walze ragt die stählerne Umdrehungsaxe vor und ruht auf zwei messingenen Lagern. Die eine Hälfte dieser Axe ist nun mit einem Schraubengewinde versehen, so dass beim Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortschieben derselben in der Richtung ihrer Längsaxe stattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schliessung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derselben eine Spirale.

Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem ersten angebrachten Stift markirt.

In neuerer Zeit hat man die galvanisch registrirenden Apparate durch Anwendung von Schwarzschildern (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl., 2. Bd., S. 409) wesentlich vervollkommnet.

Hat der Beobachter den Beobachtungsmoment in der besprochenen Weise markirt, so tritt er nun, um die Zeit dieses Momentes zu bestimmen, zur Uhr und markirt in gleicher Weise auf der Linie der Beobachtungsmarken den Moment eines zu notirenden Secundenschlages. Nehmen wir z. B. an, diese Zeitmarke sei um $3^h 25' 17''$ gemacht und man finde, dass der Zwischenraum zwischen ihm und der Beobachtungsmarke einer Zeitdauer von $52,7''$ entspreche, so ist der Beobachtungsmoment

$$3^h 25' 17'' - 52,7'' = 3^h 24' 14,3''.$$

Das Aequatorealinstrument. Stundenwinkel und Declination sind in Beziehung auf den Aequator ganz dasselbe, was Azimut und Höhe für den Horizont sind, es muss sich demnach auch ein Instrument construiren lassen, welches für den Aequator dasselbe leistet, wie das Theodolit für den Horizont, welches also in gleicher Weise die Messung des Stundenwinkels und der Declination möglich macht. Ein solches Instrument wird Aequatorealinstrument genannt. Man könnte jedes Theodolit in ein Aequatorealinstrument verwandeln, wenn man den Azimutalkreis in eine solche Stellung brächte, dass er dem Aequator parallel wäre; die Umdrehungsaxe des Kreises *C*, Fig. 12, würde alsdann mit der Weltaxe zusammenfallen, der Limbus *D* würde zur Ablesung der Stundenwinkel, der Kreis *A* zur Ablesung der Declination dienen. Eine solche Aufstellung des Theodolits würde aber eben so unbequem als unsicher sein, man hat deshalb das Aequatorealinstrument in anderer Weise construirt.

Fig. 25 (a. f. S.) stellt ein Aequatorealinstrument dar, wie sie auf Sternwarten gewöhnlich an einem erhöhten Orte des Gebäudes aufgestellt werden. Die der Weltaxe parallele Umdrehungsaxe *AA* ist unten durch einen steinernen Pfeiler *N*, oben aber durch einen gusseisernen Bügel *M* getragen. *DD* ist der in unserer Figur zur Linie verkürzt erscheinende Aequatorealkreis, *BB* ist der Declinationskreis.

Wenn der Declinationskreis *B* vertical steht, so befindet er sich in der Ebene des Meridians und alsdann zeigt der Index des Aequatorealkreises auf Null. Der Index des Declinationskreises steht auf Null, wenn

die Axe des Fernrohres in der Ebene des Aequators steht, wenn sie einen rechten Winkel mit der Axe AA macht.

Fig. 25.



Um das Instrument vor dem Einfluss der Witterung zu schützen ist es mit einem gewöhnlich halbkugelförmigen Dache überdeckt, welches eine durch Klappen verschliessbare Oeffnung O hat. Das ganze Dach ruht auf Rollen, so dass man es leicht mit Hülfe der Kurbel R seine verticale Axe drehen und die Oeffnung O nach der Seite des Himmels hinbringen kann, welche man gerade beobachten will.

Die am Aequatorinstrument gemachten Messungen sind bei Verrücktem nicht der Genauigkeit fähig, wie die im Meridian am Passageinstrument und Meridiankreis gemachten; man wendet deshalb auch das Aequatorinstrument zur Ortsbestimmung von Gestirnen nur dann an, wenn die Umstände eine Beobachtung im Meridian nicht erlauben. Das Aequatorinstrument leistet aber dem Astronomen noch andere sehr werthvolle Dienste. Bei einem stark vergrössernden Fernrohre erscheint die Geschwindigkeit vergrössert, mit welcher die Gestirne in Folge ihrer täglichen Bewegung fortschreiten, und in ganz kurzer Zeit ist das Gesichtsfeld des Fernrohres durchlaufen; man muss also fortwährend rücken, und zwar in verticaler und horizontaler Richtung, um den Stern nicht aus dem Gesichtsfelde zu verlieren. Bei dem Aequatorinstrumente ist es nun ungleich leichter, dem Gestirne zu folgen. Ist ein Fernrohr des Instrumentes auf einen Stern gerichtet und dann der Declinationskreis festgestellt, so dass sich die Neigung des Fernrohres

gegen die Axe *A* nicht mehr ändern kann, so wird bei einer Umdrehung um die Axe *A* die Visirlinie des Fernrohres am Himmelsgewölbe einen Kreis beschreiben, welcher mit der Bahn des Sternes zusammenfällt; es bedarf also nur einer langsamen Drehung um die eine Axe *A*, um das Gestirn im Gesichtsfelde zu behalten.

Die fragliche Drehung um die Axe *A* muss von der Art sein, dass in einer Minute (Sternzeit) der Drehungswinkel $1\frac{1}{4}^{\circ}$, in einer Stunde 15° beträgt, dass also zu einer vollständigen Umdrehung 24 Stunden Sternzeit nöthig sind. Um eine gleichförmige Umdrehung um die Axe *A* hervorzubringen, hat man bei grösseren Aequatorealinstrumenten in der That die Axe *A* mit einem Uhrwerke in Verbindung gebracht, so dass das Fernrohr der Bewegung des Gestirnes folgt, welches man beobachten will.

Nach diesem Princip sind denn auch die grossen mit dem Namen der Refractoren bezeichneten Fernröhre aufgestellt, welche dazu dienen, Beobachtungen über die Beschaffenheit einzelner Gestirne, z. B. des Mondes, des Saturn u. s. w., anzustellen. Bei solchen Instrumenten wird dann auch die Drehung der Hauptaxe durch ein Uhrwerk bewerkstelligt.

Fig. 26 (a. f. S.) ist die Totalansicht eines von Belthle und Rexroth in Wetzlar sehr übersichtlich construirten transportablen Aequatoreal-instrumentes, von welchem Fig. 27 den mittleren Theil in grösserem

Fig. 27.



Maassstab darstellt. •Die Hauptaxe des Instrumentes, welches bei richtiger Einstellung desselben mit der Weltaxe parallel sein muss, wird durch

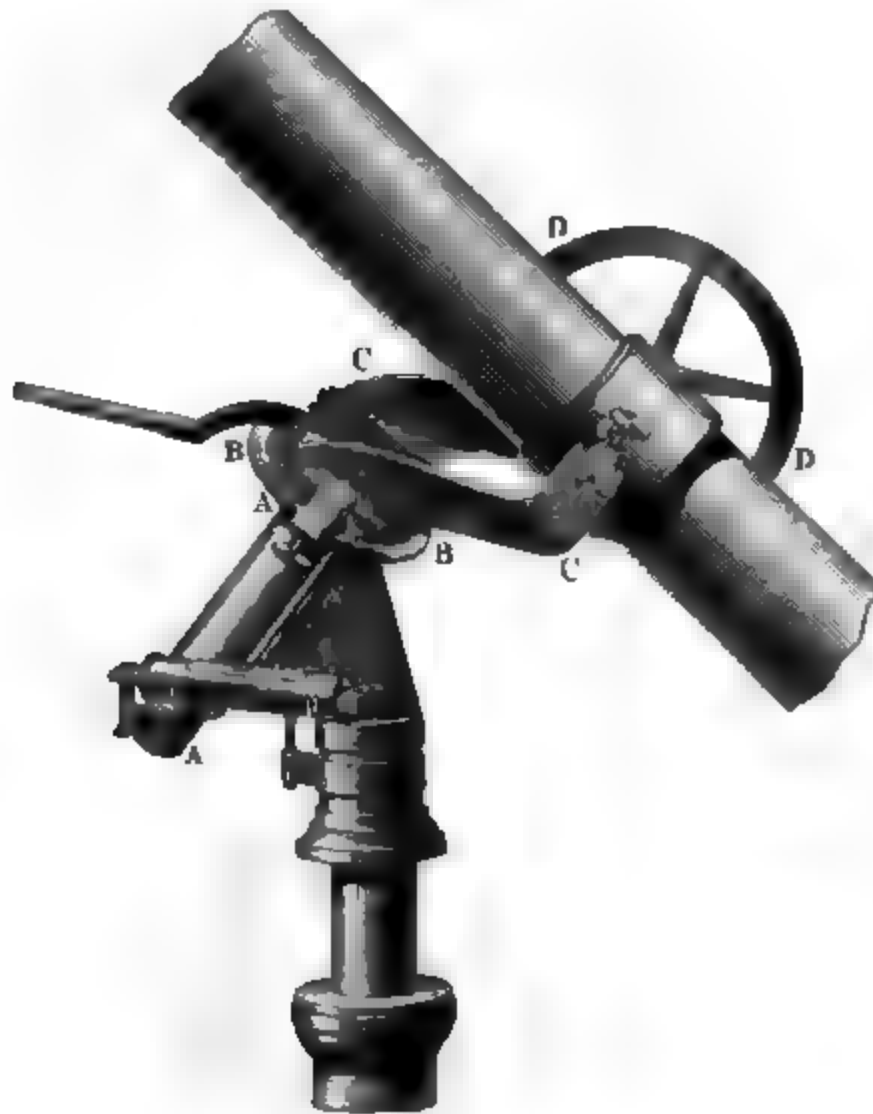
Fig. 26.



einen eisernen Zapfen gebildet, welcher in der messingenen Hülse *A* drehbar ist. Wir wollen diese Axe als die Axe *x* bezeichnen. Auf dem oberen Ende der Hülse *A* ist der getheilte dem Erdaquator parallele Kreis *B*, also der Aequatorealkreis befestigt, während auf dem oberen Ende der in *A* drehbaren eisernen Axe *x* eine starke messingene Gabel

C aufgeschraubt ist. Diese Gabel *C* trägt nun das Fernrohr, welches zunächst um eine rechtwinklig zur Axe *x* stehende Axe drehbar ist,

Fig. 28.



deren Zapfenlager sich im oberen Theil der Gabel *C* befinden, und die wir als die Axe *y* bezeichnen wollen.

An derselben Axe *y*, welche das Fernrohr trägt, ist der Declinationskreis *D* befestigt, welcher sich mit dem Fernrohr dreht.

Der zum Declinationskreis gehörige Nonius *n* ist an der Gabel *C* befestigt. Er zeigt auf den Nullpunkt des Declinationskreises, wenn das Fernrohr rechtwinklig zur Weltaxe (also rechtwinklig zur Axe *x*) steht. In diesem Falle ist das Fernrohr gerade auf einen Punkt des Himmelsäquators gerichtet.

Aus dieser Lage hat man das Fernrohr sammt dem Declinationskreise um *t* Grade mehr in die Höhe oder nach unten zu drehen, wenn man auf einen Stern einstellen will, dessen nördliche oder südliche Declination *t* Grade beträgt.

Um das Fernrohr für eine bestimmte Declination *t* festzustellen, hat man nur die Klemmschraube *s*, Fig. 28, anzuziehen. Es wird dadurch eine fernere Drehung um die Axe *y* verhindert.

Der zum Aequatorealkreis *B* gehörige Nonius ist an der Gabel *C* befestigt und dreht sich mit dieser um die Axe *x*: er zeigt auf den Nullpunkt des Aequatorealkreises, wenn die Fernrohraxe gerade im Meridian steht.

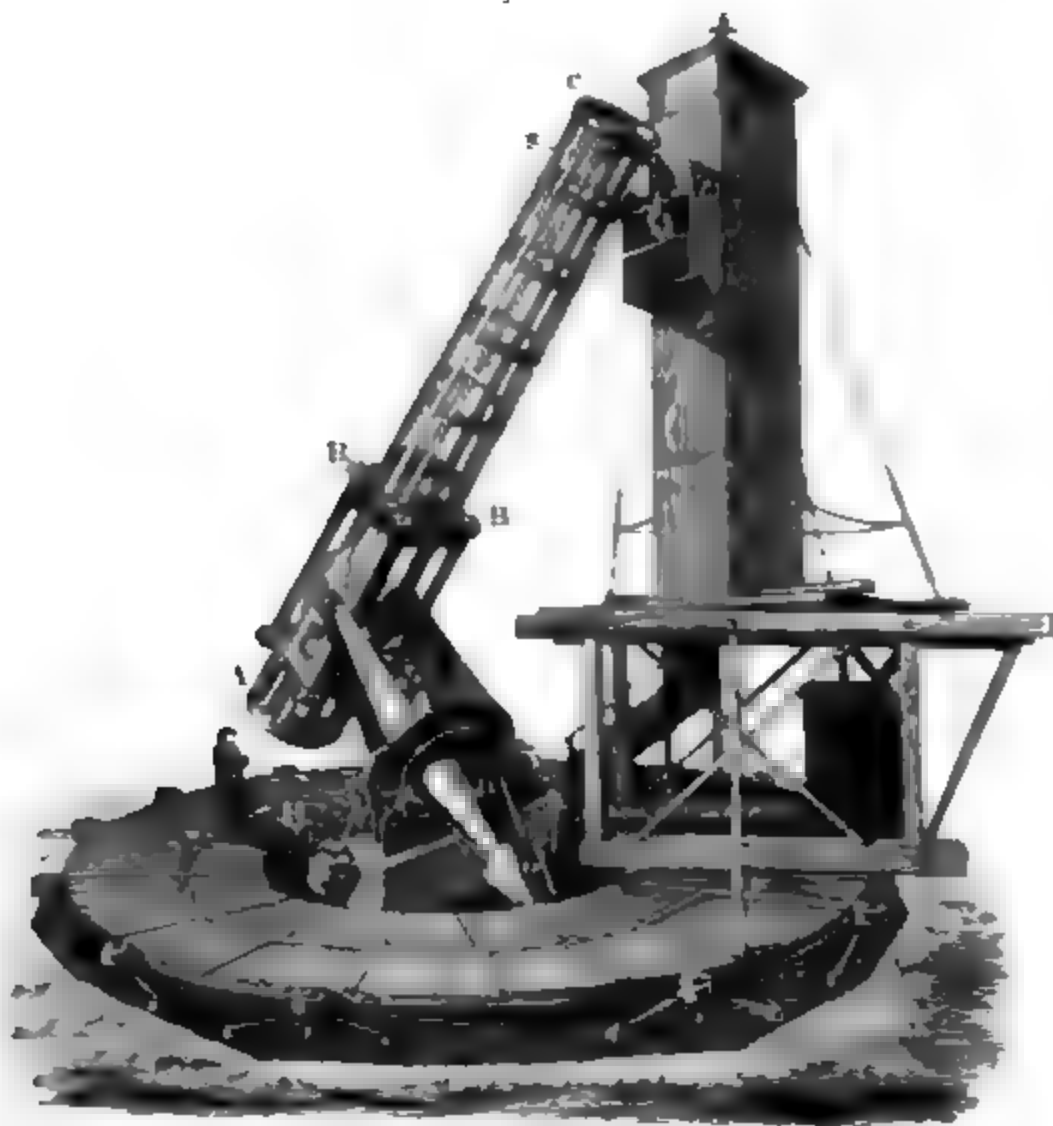
In Fig. 26, in welcher dieser Nonius sichtbar sein sollte, ist derselbe des kleinen Maassstabes wegen weggelassen. In Fig. 28 ist er durch die Gabel *C* verdeckt. Er steht der Klemmvorrichtung *k* diametral gegenüber, durch welche die Gabel *C* an den Kreis *B* festgeklemmt, also eine weitere Umdrehung um die Axe *x* verhindert werden kann.

P ist ein Gewicht, welches zur Aequilibrirung des Fernrohres, und *o* ist eine Wasserwaage, welche zur richtigen Aufstellung des Instrumentes dient.

Ein solches Instrument führt gewöhnlich nur dann den Namen eines Aequatorealinstrumentes, wenn seine Kreise ziemlich gross und zu Messungen geeignet sind. Sind sie aber kleiner, so dass sie nur zur Einstellung des Fernrohres dienen, so wird das Instrument ein parallaktisch aufgestelltes Fernrohr oder ein Fernrohr mit parallaktischem Stativ genannt.

Auch bei Spiegelteleskopen wird die parallaktische Aufstellung in Anwendung gebracht. Fig. 29 stellt ein grosses Newton'sches Spiegel-

Fig. 29.



Teleskop dar, welches Lassell in Sandfield-Park bei Liverpool parallaxisch aufstellen liess. Der bei A befindliche Hohlspiegel hat 4' Durchmesser und 36' 7" Brennweite. Das Rohr ist aus Streifen starken Eisens so zusammengesetzt, dass zwischen je zwei solchen Streifen ein leerer Raum bleibt, dass also die Luft im Inneren des Rohres nach allen Seiten hin frei mit der äusseren communicirt. Bei S ist der Planspiegel eingebracht, welcher die vom Hohlspiegel A kommenden Strahlen gegen die an der Seite des Rohres befindliche Ocular reflectirt.

Zunächst ist das ganze Instrument um die Axe des Kegels n drehbar, welche mit der Richtung der Weltaxe zusammenfällt; dann aber kann, wie man aus der Figur ohne weitere Erläuterung sieht, der Winkel des Rohres gegen die Weltaxe beliebig verändert werden.

Die Umdrehung des Instrumentes um die Weltaxe geschieht durch einen Arbeiter mittelst der Kurbel H . Die Einrichtung ist so getroffen, dass das Rohr dem täglichen Lauf der Gestirne folgt, wenn der Arbeiter die Kurbel einmal in der Secunde umdreht.

Der Beobachter steht auf einem Thürmchen von Holz, welches auf einem ringförmigen um eine verticale Axe drehbaren Holzgestelle steht; die Umdrehung derselben wird durch einen in dem Häuschen K sitzenden, eine Kurbel drehenden Arbeiter besorgt, und hat zum Zweck, den Beobachter dem continuirlich bewegten Rohre nachzuführen.

Eine andere parallaktische Aufstellung von Spiegelteleskopen ist bereits in der 7. Aufl. des Lehrbuchs der Physik, Bd. I, Seite 733, Fig. 797, dargestellt.

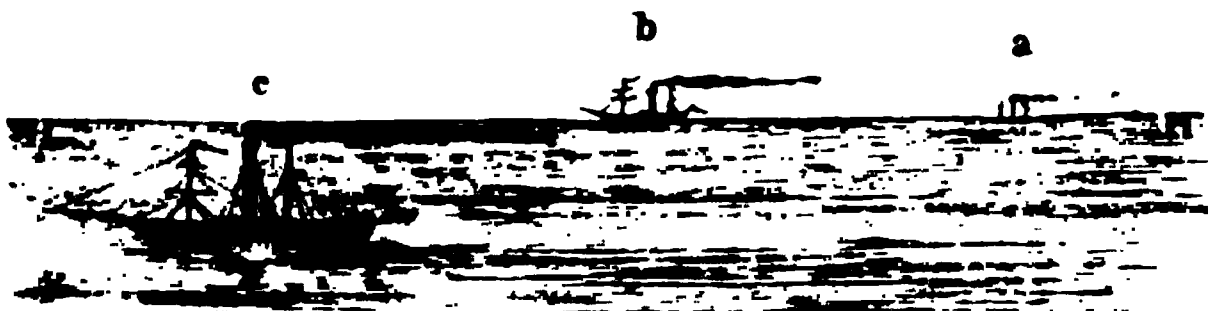
Zweites Capitel.

Gestalt, Grösse und Axendrehung der Erde.

15 **Krümmung der Erdoberfläche.** Bisher haben wir die Erdoberfläche als eine Ebene betrachtet, wie sie, die Unebenheiten der Gebirge abgerechnet, auf den ersten Anblick wohl auch erscheinen mag: eine aufmerksame Beobachtung der Meeresoberfläche zeigt uns aber schon, dass die Erdoberfläche gekrümmt sein muss.

Wenn man von einem etwas erhöhten Standpunkte, sei es von einem Thurme oder einem Berge am Ufer, oder von den Masten eines Schiffes aus, auf das offene Meer hinausschaut, so sieht man von einem hinlänglich entfernten Schiffe nur die Spitzen der Masten oder des Schornsteins wie es bei *a*, Fig. 30, dargestellt ist. Wenn sich das Schiff dem Beob-

Fig. 30.



achter nähert, so scheint es allmählig aus dem Wasser aufzutauchen, bis es endlich vollständig sichtbar wird und nun gerade auf der Gränzlinie *III* zwischen Himmel und Meer zu ruhen scheint, wie bei *b*. Bei fortwährender Annäherung scheint nun das Schiff auf der Meeresoberfläche von der Linie *III* herabzusteigen, so dass es mehr und mehr, und wenn der Beobachter hoch genug steht, endlich ganz auf die Meeresfläche projicirt erscheint, wie bei *c*.

Auch auf Landseen von einiger Ausdehnung zeigt sich die eben beschriebene Erscheinung; Fig. 31 stellt dieselbe dar, wie man sie auf dem Meere beobachtet, wenn man sich 10 bis 12 Fuss über dem Wasseregel, etwa auf dem Verdeck eines Dampfschiffes, befindet. Um die kleinen Schiffe hinlänglich deutlich zu sehen, muss man jedoch ein, wenn auch schwach vergrösserndes Fernrohr anwenden.

Fig. 31.



Diese Erscheinung zeigt offenbar, dass die Meeresoberfläche gekrümmt ist. Denkt man sich von dem Auge des Beobachters eine gerade Linie nach irgend einem Punkte der Linie *HI*, Fig. 30, gezogen, welche Wasser und Himmel scheidet und welche Horizontlinie genannt wird, so ist diese Linie offenbar eine Tangente der krummen Meeresoberfläche, wie dies Fig. 32 erläutert, in welcher *o* den Standpunkt des Beobachters,

Fig. 32.

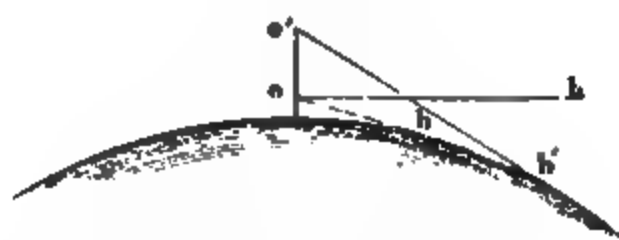


beobachters, *oab* eine Gesichtslinie bezeichnet, welche die Meeresoberfläche in *a* streift.

Sieht der Beobachter nichts als Himmel und Meer, so begränzt die Scheidelinie zwischen beiden, also die rings um ihn herumlaufende Horizontlinie, welche die Gesamtheit aller Punkte enthält, in welchen die von dem Auge ausgehenden Gesichtslinien die Meeresoberfläche tangiren, die Fläche, welche wir den Gesichtskreis nennen wollen. Je höher sich der Beobachter über den Spiegel des Meeres erhebt, desto mehr

wächst, wie dies durch Fig. 33 erläutert wird, der von ihm

Fig. 33.



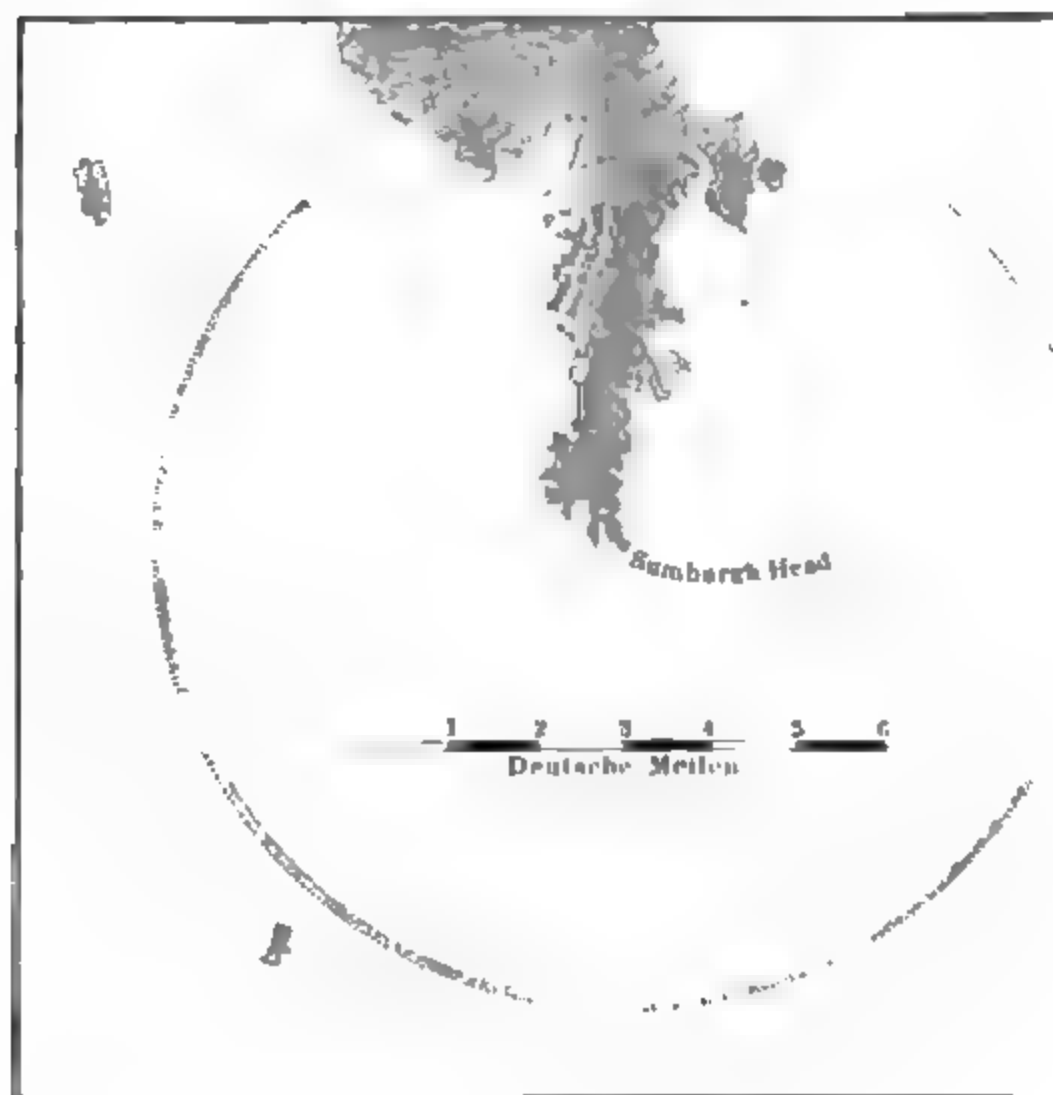
Gesichtskreis, desto mehr rückt die Horizontlinie von ihm
Halbmesser des Gesichtskreises ist ungefähr

19 800'	wenn sich der Beobachter	10'
62 600	" " " "	100
198 000	" " " "	1 000
626 400	" " " "	10 000

hoch über dem Spiegel des Meeres befindet.

Fig. 34 stellt den Erleuchtungskreis des 280 Pariser F
Leuchthturms von Sumburgh Head (der Südspitze von Main
grössten unter den schetländischen Inseln) dar, d. h. den Kreis,

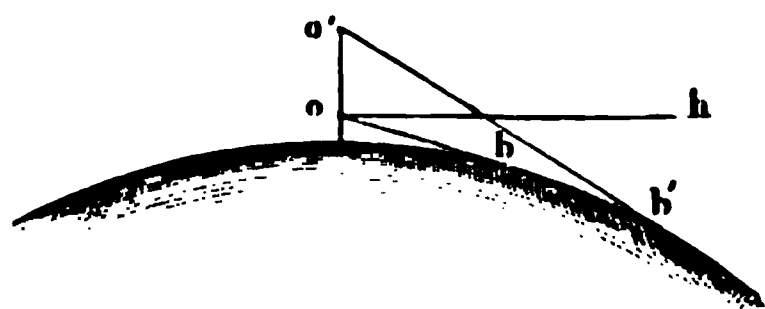
Fig. 34.



von dem Verdeck eines Schiffes das Feuer jenes Leuchthturms
r ist.

us dem Gesagten geht auch hervor, dass eine vom Auge des Be-

Fig. 35.



obachters nach einem Punkte
der Horizontlinie gezogene
Linie ob keineswegs mit der
durch o gelegten wagerech-
ten oh zusammenfällt, son-
dern dass die Visirlinie ob
einen Winkel boh mit oh
macht, welcher die Depres-

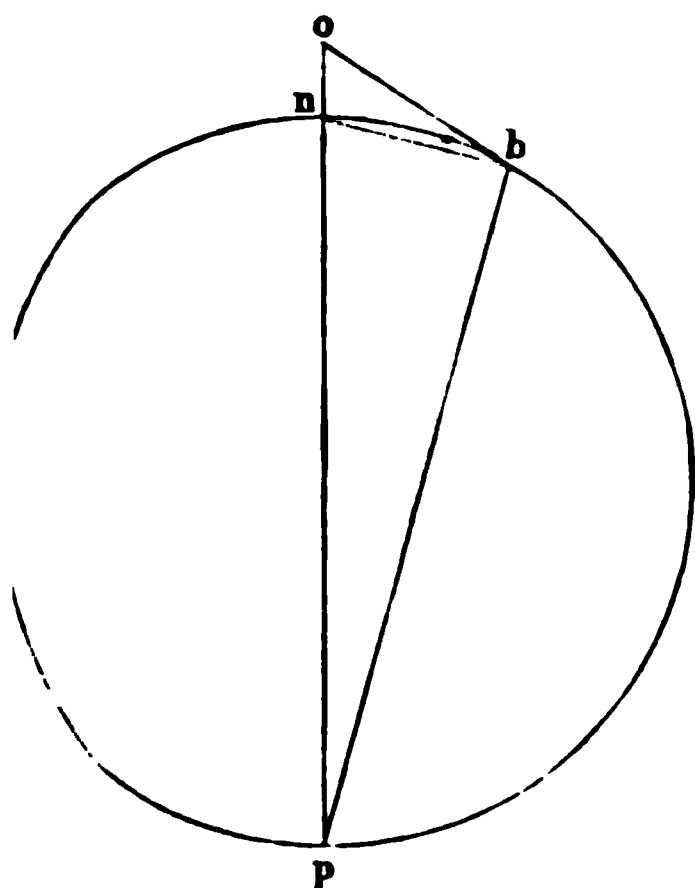
des Horizontes genannt wird. Die Depression des Horizontes
ist natürlich auch, wenn der Beobachter aufsteigt. Die Depression
des Horizontes ist

	3,5'	für eine Erhebung von	10'
-	11,0	" " " "	100
	34,7	" " " "	1000
	1° 50,0	" " " "	10000

Alle diese Erscheinungen deuten nun darauf hin, dass wenigstens
die Erdoberfläche kugelförmig gekrümmt sei. Da aber die Oberfläche
des Meeres viel grösser ist als die der Länder, da ferner die Erhebung

der Continente über den Mee-
resspiegel verhältnissmässig ganz
unbedeutend ist, so können wir
schliessen, dass die ganze Erde
eine Kugel sei.

Fig. 36.



Gehen wir von dieser An-
nahme aus, so können wir aus
den oben mitgetheilten Werthen
für den Radius des Gesichtskrei-
ses die Grösse des Erdhalbmess-
ers berechnen. Der Kreis
Fig. 36 stelle einen Durchchnitt
der Erdkugel dar, so ist np ein
Durchmesser derselben. o sei
nun der Standpunkt des Beob-
achters, ob eine durch sein Auge
an die Erdoberfläche gelegte
Tangente, so sind die Dreiecke
 nob und obp einander ähnlich
und man hat

$$no : ob = ob : op$$

daraus:

$$op = \frac{ob^2}{no}.$$

Wenn die Erhebung $no = 1000'$ ist, so ist $ob = 198\,000'$, es ist

$$op = \frac{198\,000^2}{1000} = 39\,204\,000.$$

Ziehen wir davon $no = 1000$ ab, so bleibt für den Durchmesser Erde $D = 39\,203\,000$ Fuss oder 1782 deutsche Meilen, da eine Meile in runder Zahl gleich 22 000 Fuss ist.

Eine solche Bestimmungsweise des Erddurchmessers kann natürlich keine genauen Resultate liefern.

Sehr gut lassen sich aus geodetischen Höhenmessungen sowohl Krümmung der Erde nachweisen, als auch ihre Dimensionen annähernd berechnen.

Wenn man nämlich von zwei möglichst weit von einander entfernten Orten, die so gelegen sind, dass man von jedem aus den anderen sehen kann, den Winkel misst, welchen an jedem dieser Orte die Verticale mit der beide Orte verbindenden Visirlinie macht, so beträgt die Summe dieser Winkel nicht 180° , wie es sein müsste, wenn die Verticales beider Orte parallel wären. Aus der Differenz dieser Winkelsumme von 180° lässt sich der Halbmesser der Erde berechnen, wenn die Entfernung beider Orte bekannt ist.

Ein Beispiel mag dies erläutern. Nach den vom Obristen K. im Jahre 1833 mit einem achtzölligen Höhenkreisse gemachten Messungen macht die Visirlinie SD vom Strassburger Münster nach dem Rande des Durlacher Wartthurms mit der Verticalen SC einen Winkel $89^\circ 48'$, während der Winkel SDM gleich $89^\circ 35'$ gefunden wurde. Da die Summe dieser beiden Winkel, $179^\circ 23'$, kleiner ist als 180° , sind also die Linien SC und DM nicht parallel, sondern sie conver-

Fig. 37.



ren, und der Winkel, unter welchem sie im Mittelpunkte der Erde (unter der Annahme der Kugelgestalt vorausgesetzt) zusammentreffen, ist $180^\circ - (179^\circ 23') = 37'$.

Da nun aber die Entfernung des Strassburger Münsters vom Durlacher Wartthurme 71 058 Meter beträgt, so hat man, um zu berechnen, wie lang $\frac{1}{4}$ des Erdumfanges ist, die Proportion:

$$37' : 71\,058^m = 90^\circ : x$$

$$37' : 71\,058^m = 5400' : x,$$

$$x = 10\,370\,000 \text{ Meter.}$$

manach würde sich die Länge des Erdhalbmessers gleich 900 Meilen. Um ein genaueres Resultat zu erhalten, müsste man an nassen Winkeln erst eine Correction wegen der atmosphärischen Brechung anbringen, wovon aber hier noch nicht die Rede sein

itere Beweise für die Kugelgestalt der Erde liefern die sogenannten um die Welt und die Gestalt des Erdschattens, wie man sie in Finsternissen zu beobachten Gelegenheit hat; am entschiedensten ergibt sie sich, wenn man mit Aufmerksamkeit den Anblick des Himmels in verschiedenen Gegenden vergleicht.

Bestimmung der Kugelgestalt durch astronomische Beobachtungen. Im vorigen Capitel wurde bereits angeführt, dass in mittlerer Deutschland die Weltaxe ungefähr einen Winkel von 50° mit der Ebene des Horizontes macht, und also die Ebene des Aequators einen Winkel von 40° mit der Ebene des Horizontes macht. Das ändert sich nun, sobald man nach Norden oder nach Süden reist.

Je weiter man nach Norden geht, desto mehr steigt der Polarstern in die Höhe, während der Himmelsäquator sich in gleichem Maasse

Fig. 38.



gegen die Ebene des Horizontes senkt. Es nimmt also die Zahl der Sterne zu, welche nicht auf- und nicht untergehen; dagegen wird aber auch ein immer grösserer Theil der südlichen Hälfte der Himmelskugel ganz unsichtbar, der Gürtel der Sterne, welche auf- und untergehen, wird immer schmaler.

Am besten kann man sich diese Veränderungen anschaulich machen, wenn man einen Himmelsglobus zur Hand nimmt. Fig. 38 zeigt einen Himmelsglobus in derjenigen Stellung, wie sie den Erscheinungen des gestirnten Himmels im mittleren Deutschland entspricht; der Nordpol des Himmels steht 50° über der Ebene des Ho-

izontes, mit welcher der Himmelsäquator einen Winkel von 20° macht.

Soll der Himmelsglobus die Erscheinungen nördlicher gelegener Gegenden darstellen, so muss man den Messingring *M* so drehen, dass die Axe *PQ* sich mehr und mehr der Verticalen nähert. In der Stellung Fig. 39 z. B. zeigt der Himmelsglobus die Erscheinungen des gestirnten Himmels, wie sie ungefähr an den nördlichsten Grenzen Europa wahrgenommen werden. Die Zenithdistanz des Polarsterns beträgt keine 20° mehr, die Plejaden gehen nicht mehr unter, sondern man sieht ihre obere und ihre untere Culmination. Sirius und Spica erheben sich im südlichen Himmel kaum noch über den Horizont, während Antares, Scorpion und Fomalhaut im südlichen Fisch gar nicht mehr sichtbar werden.

Könnte man vom Nordcap aus noch so weit nach Norden fortgehen wie das Nordcap von Frankfurt am Main liegt, so würde man zu einem Punkte kommen, wo der Nordpol des Himmels im Zenith liegt und der Himmelsäquator in die Ebene des Horizontes fällt, wie es Fig. 40 darstellt. Hier ist nur noch die nördliche Hemisphäre des Himmels sichtbar.

Fig. 39.

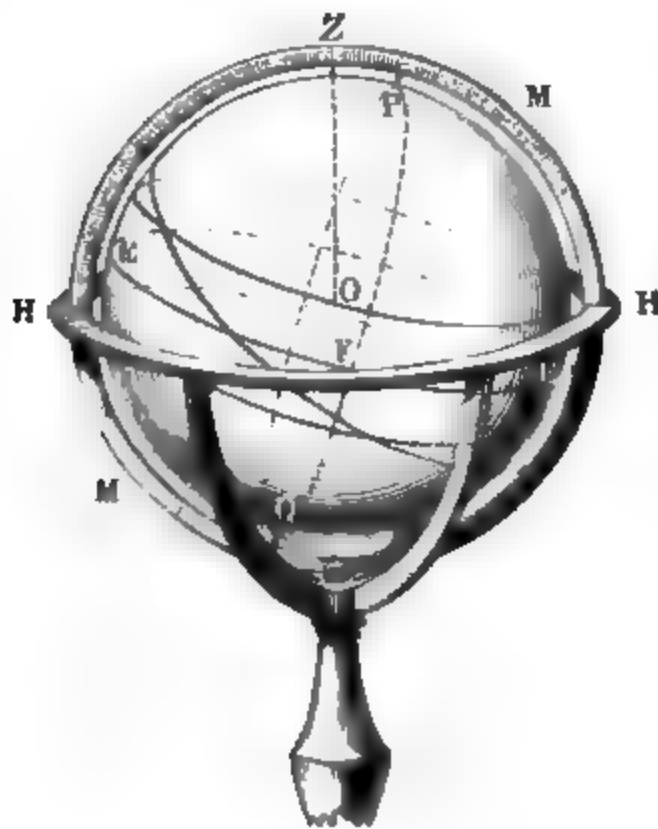
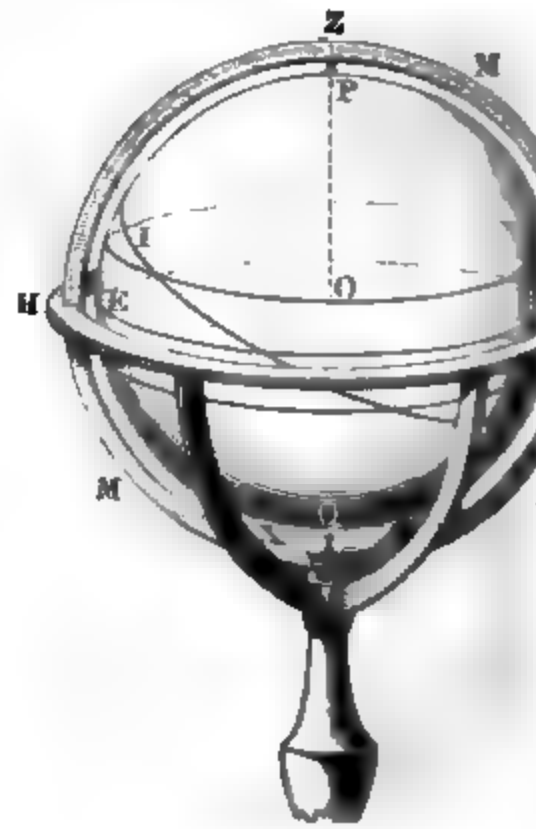


Fig. 40.



bar. Alle sichtbaren Sterne beschreiben während ihrer täglichen Bewegung Kreise, welche mit dem Horizont parallel sind, die Höhe eines Sternes bleibt also stets unverändert.

Verfolgen wir nun auch die Veränderungen, welche der gestirnte Himmel darbieten wird, wenn man vom mittleren Deutschland aus nach Süden geht. Der Nordpol des Himmels senkt sich immer mehr

einer wird der Kreis der Sterne, welche nicht auf- und nicht n. Auf den Inseln des grünen Vorgebirges z. B. ist der Polarstern noch 15° über dem Horizont.

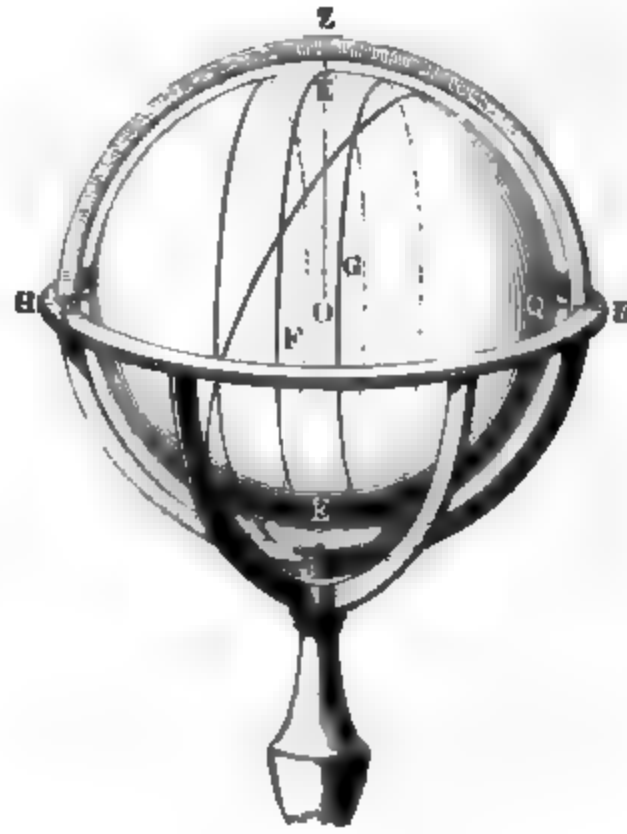
Sternbild des grossen Bären gehört hier nicht mehr zu denen, welche über dem Horizont bleiben; dagegen bleibt auch nur ein Theil des südlichen Himmels unsichtbar, und das schöne Sternkreuz glänzt am südlichen Himmel. Fig. 41 stellt ungefähr die Stellung der Himmelskugel gegen den Horizont dar, wie sie auf den Inseln des grünen Vorgebirges beobachtet wird.

Wenn man weiter nach Süden fortschreitend, gelangt man endlich an den Himmelsäquator im Zenith erscheint, Fig. 42, wie dies z. B.

Fig. 41.



Fig. 42.



der Fall ist. Nach Norden hin sieht man den Nordpol, nach Süden hin den Südpol des Himmels im Horizont. Alle Parallelkreise des Himmels stehen rechtwinklig auf der Ebene des Horizontes. Kein Stern bleibt beständig über, keiner beständig unter dem Horizont, der Tagbogen ist der Nachtbogen gleich.

Wenn man den Weg nach Süden hin immer noch weiter fort, so sinkt der Nordpol des Himmels unter dem Horizont, der Südpol steigt höher und höher.

Aus diesen eben besprochenen Erscheinungen geht hervor, dass die Erde in der Richtung von Norden nach Süden hin gekrümmt sein muss, und zwar ziemlich gleichförmig; denn für je 342 000 Fuss, um welche die Erde nach Norden hin fortschreitet, erhebt sich der Polarstern um 1° mehr über den Horizont.

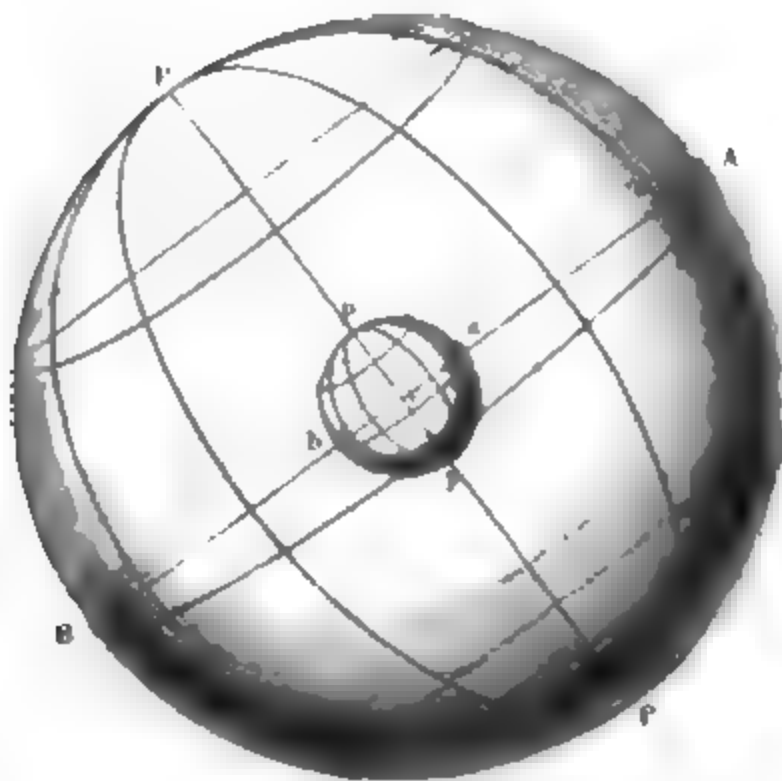
Ebenso ist aber auch die Erde in der Richtung von Ost nach West gekrümmt. Reist man gerade nach Westen hin, so ändert sich zwar der Ausblick des gestirnten Himmels durchaus nicht; aber die Zeit des Auf- und Unterganges der Gestirne, die Zeit ihrer Culmination ist nicht dieselbe. In demselben Moment, in welchem die Sonne in London aufgeht, ist sie zu Berlin schon bald eine Stunde lang über dem Horizont; und die Zeit des Mittags von Quito fällt mit der Zeit der Mitternacht von Sumatra zusammen.

Von der Richtigkeit dieser Behauptung kann sich jeder Reisende mit Hülfe einer guten Uhr überzeugen. Nehmen wir an, die Uhr sei nach Berliner Zeit gerichtet, d. h. sie gehe so, dass sie für Berlin stets die richtige Zeit anzeigt, so wird diese Uhr, wenn man dieselbe, ohne sie zu verstellen, an westlicher gelegene Orte bringt, stets vor der Uhr dieser Orte vorgehen, und zwar um so mehr, je weiter man nach Westen fortschreitet. Die nach Berliner Zeit gehende Uhr geht in London nahezu 1, in Newyork $5\frac{1}{2}$ Stunden vor.

Fassen wir dies Alles zusammen, so ergibt sich, dass die Erde überall in gleicher Weise von Nord nach Süd und von Ost nach West gekrümmt, kurz, dass sie eine Kugel ist, und zwar muss diese Kugel frei im Weltraume schweben, weil es keine Stelle des Himmels giebt, die nicht von den entsprechenden Orten der Erde aus frei sichtbar wäre.

- 17 **Geographische Länge und Breite.** Fig. 43 stellt die mitten in der Himmelskugel schwebende Erdkugel dar, wobei jedoch zu beden-

Fig. 43.



Es ist, dass die Dimensionen der Erdkugel verschwindend klein sind im Vergleich zu denen der Himmelskugel, was man in der Zeichnung freilich nicht richtig darstellen kann. Die Weltaxe PP' geht mitten durch die Erdkugel hindurch und trifft ihre Oberfläche in zwei Punkten pp' , welche die Pole der Erde sind; p ist der Nordpol, p' ist der Südpol der Erde.

Die Ebene des Himmelsäquators schneidet die Erde in einem Kreise bc , welcher der Aequator der Erde ist.

Denken wir uns an irgend eine Stelle der Erdoberfläche eine Beobachtungsebene gelegt, so ist dies der scheinbare Horizont, d. h. der Horizont, welcher dem auf der Erdoberfläche befindlichen Beobachter in der That die sichtbare Hälfte der Himmelskugel begränzt. Es ist klar, dass ein auf dem Nordpol der Erde stehender Beobachter den Nordpol des Himmels im Zenith hat, dass dagegen für einen auf dem Erdäquator stehenden Beobachter ein Punkt des Himmelsäquators das Zenith bildet, kurz, dass bei Veränderung des Standpunktes auf der Erde der Anblick des Himmels sich in der Weise ändern müsse, wie wir es im vorigen Paragraphen gesehen haben.

Eine parallel mit dem scheinbaren Horizont durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene ist der wahre Horizont. Der Abstand des wahren Horizontes vom scheinbaren ist so klein im Vergleich zu den Dimensionen des Himmelsgewölbes, dass der Anblick des gestirnten Himmels für den auf der Oberfläche der Erde befindlichen Beobachter derselbe ist, als ob er sich im Mittelpunkte des wahren Horizontes befände.

Den Stundenkreisen und Parallelkreisen auf der Himmelskugel entsprechend denkt man sich auch auf der Erdkugel ein System von Kreisen gezogen. — Diejenigen grössten Kreise, welche durch die beiden Pole p und p' der Erde gehen, welche also den Stundenkreisen der Himmelskugel entsprechen, werden Längenkreise, Meridiankreise oder nur Meridiane genannt. Die mit dem Aequator parallelen Kreise heissen Parallelkreise oder Breitenkreise.

Mittelst dieser Kreise findet die Ortsbestimmung auf der Oberfläche der Erdkugel ganz in derselben Weise Statt, wie die Ortsbestimmung am Himmel, durch Declination und Rectascension. Was für die Himmelskugel die Declination ist, das ist die geographische Breite für die Erdkugel; die geographische Länge hat für die Erdkugel dieselbe Bedeutung wie die Rectascension für die Himmelskugel.

Die geographische Breite eines Ortes ist der auf seinem Meridian gemessene Bogen von dem Orte bis zum Erdäquator. So ist z. B. die geographische Breite von Freiburg 48° , Freiburg ist also noch um 42 Breitengrade vom Nordpol der Erde entfernt, da der Bogen vom Pol bis zum Aequator 90° beträgt.

Die geographische Länge eines Ortes ist der auf dem Aequator gezählte Winkel oder Bogen, welcher zwischen dem Meridian des

Ortes und irgend einem bestimmten zum Ausgangspunkte der Zählung gewählten Meridian liegt.

Gewöhnlich zählt man die Länge von dem durch die Insel Ferro gelegten Meridian.

So ist denn die Lage von Freiburg vollkommen bestimmt, wenn man sagt, es liege in einer nördlichen Breite von 48° und seine geographische Länge sei (ungefähr) $25\frac{1}{2}^\circ$ östlich von Ferro.

Die Engländer nehmen den Meridian von Greenwich, die Franzosen den von Paris zum Ausgangspunkte für die Zählung der geographischen Länge.

18 Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes

Fig. 44 stelle die Erdkugel dar. PQ sei die Erdaxe, EE' der zu

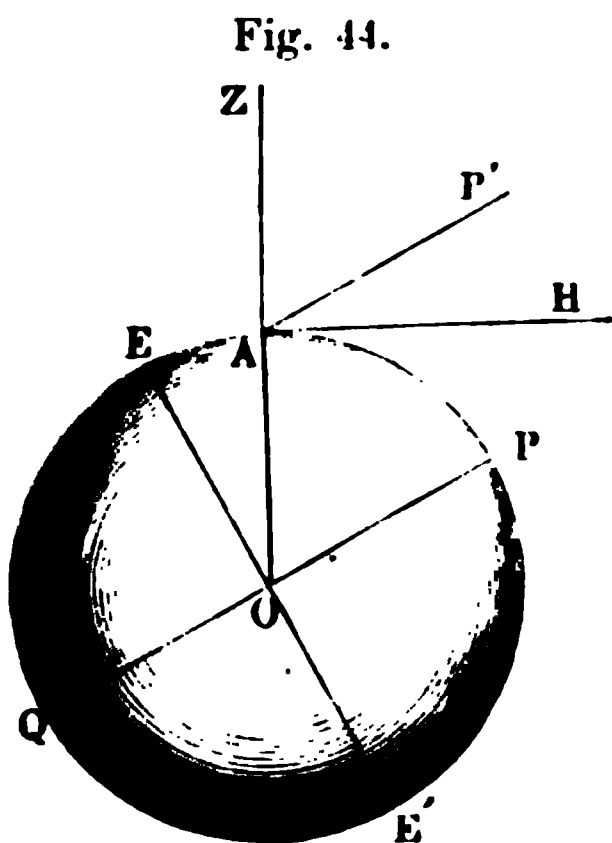


Fig. 44.

Linie verkürzt erscheinende Erdäquator es sei ferner A irgend ein Ort auf der Erdoberfläche, so ist der Bogen EA die geographische Breite desselben. Denke wir uns nun von A aus eine gerade Linie AP' parallel mit der Erdaxe gezogen, so trifft die Verlängerung dieser Linie gerade den Himmelspol (da ja die Dimensionen der Erde verschwindend klein sind gegen die des Himmelsraumes). Der Winkel aber, welchen AP' mit AE der Ebene des Horizontes von A , macht ist aber offenbar gleich dem Winkel EOA , oder mit anderen Worten: die geographische Breite eines Ortes ist seiner Polhöhe gleich.

Um die geographische Breite eines Ortes zu ermitteln, hat man also nur zu messen, um wie viel Grade der an diesem Orte sichtbare Himmelspol über der Ebene des Horizontes steht.

Da aber der Himmelspol nicht durch einen bestimmten Stern bezeichnet ist, so kann man die Polhöhe nicht durch eine einzige direct Messung finden; sie ergibt sich aber sehr einfach aus der Beobachtung der oberen und unteren Culmination der Circumpolarsterne. Hat man die Höhe eines der Circumpolarsterne zur Zeit der oberen und dann wieder zur Zeit der unteren Culmination gemessen, so hat man aus diesen beiden Winkeln nur das Mittel zu nehmen, um die Polhöhe zu finden.

Man hat z. B. zu Freiburg gefunden:

Höhe des Polarsterns zur Zeit der unteren Culmination $46^\circ 32'$

" " " " " " oberen " $49^\circ 28'$
so ergibt sich daraus die Polhöhe von Freiburg gleich 48° .

An Orten, wo die Localitäten oder auch die Einrichtung der Instrumente die Beobachtung der Circumpolarsterne nicht zulassen, kann

auch aus der Höhe eines anderen Sternes zur Zeit seiner oberen Culmination auf die geographische Breite des Beobachtungsortes schliesst, da ja die Declination aller helleren Sterne wenigstens durch genaue Messungen auf den ersten Sternwarten ein- für allemal bekannt (Cap. I. §. 12). Beobachtet man nun die Höhe eines Sternes zur Zeit seiner Culmination, so hat man von derselben nur die Declination des Sternes abzuziehen (oder zu addiren, wenn die Declination eine südliche ist), um zu erfahren, welchen Winkel der Himmelsäquator mit der Ebene des Horizontes macht. Dieser Winkel ist aber gleich der Zenithdistanz des Himmelspols und ergänzt also die Polhöhe (also auch die geographische Breite) zu 90° .

Bezeichnen wir mit d die Declination, mit h die beobachtete Culminationshöhe eines Sternes, so macht also der Himmelsäquator mit dem Horizont des Beobachtungsortes einen Winkel

$$p = h \mp d,$$

das obere Zeichen bei nördlicher Declination zu setzen ist. Die geographische Breite b des Ortes ist aber $90^\circ - p$, also

$$b = 90^\circ - h \pm d.$$

Man hat z. B. zu Freiburg die Höhe des Procyon (α canis minoris), dessen nördliche Declination $5^\circ 38'$ ist, zur Zeit seiner Culmination gleich $42^\circ 38'$ gefunden, und daraus ergibt sich 42° als Werth des Winkels, welchen der Himmelsäquator mit dem Horizont von Freiburg macht, die geographische Breite von Freiburg ist also 48° .

Bestimmung der geographischen Länge. Nach der obigen Definition wird die geographische Länge eines Ortes durch den Winkel gemessen, welchen der Meridian desselben mit demjenigen Meridian macht, den man zum Nullpunkte der geographischen Länge gewählt hat. 19

Um den Unterschied der geographischen Länge zweier Orte zu ermitteln, muss man bestimmen, um wie viel Stunden die Culmination eines und desselben Sternes an dem einen Orte später eintritt als am anderen. Diese in Stunden ausgedrückte Zeitdifferenz hat man nur mit 15 zu multipliciren, um den gesuchten Längenunterschied in Graden ausgedrückt zu erhalten.

Diese Zeitdifferenz erhält man aber durch die Vergleichung zweier Culminationen, von denen die eine nach der Zeit des ersten, die andere nach der Zeit des zweiten Ortes regulirt ist. Eine solche Vergleichung kann man auf verschiedene Methoden ausführen.

Sind die beiden Orte, deren Längenunterschied man ermitteln will, nicht gar zu weit von einander entfernt, so wählt man zwischen beiden Stationen einen Punkt, etwa eine Bergspitze, einen Thurm u. s. w., welcher von beiden Orten aus zugleich gesehen werden kann, auf welchem man ein vorher verabredetes Signal, etwa durch Anzünden einer kleinen Menge Pulver, gegeben wird. Die Beobachter an den beiden Stationen, welche den Gang ihrer Uhren nach der Culmination eines und desselben

Sternes regulirt haben, notiren die Zeit, in welcher sie das Signal wahrnehmen, und aus der Vergleichung der notirten Zeitmomente ergibt sich dann der verlangte Zeit- und Längenunterschied.

Wenn die beiden Orte durch einen elektrischen Telegraphen miteinander verbunden sind, so kann man sich desselben zur Bestimmung der Längenunterschiede bedienen, da die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes so gross ist, dass man die Fortpflanzung des Signals von der einen Station zur anderen als momentan betrachten darf. Der Beobachter der einen Station notirt sich die Uhrzeit, in welcher er das elektrische Signal absendet, der andere beobachtet die Uhrzeit, in welcher er es wahrnimmt. Die Differenz dieser Uhrzeiten giebt den Längenunterschied. Dies Verfahren giebt sehr genaue Resultate und ist mit Erfolg in den vereinigten Staaten von Nordamerika in Anwendung gebracht worden.

Nach dieser Methode wurden auch am 13. und am 29. August 1852 Morgens zwischen 6 und 7 Uhr Versuche zur Bestimmung des Längenunterschiedes von Frankfurt a. M. und Berlin gemacht. Das Signal bestand in einem einfachen Drucke auf den Schlüssel des Telegraphen und wurde an dem anderen Ende der Telegraphenlinie als ein einfaches Knacken von nicht messbarer Dauer gehört. Bezeichnen wir mit t_b die Berliner Zeit für den Moment eines solchen Signals, mit t_f die gleichzeitige Frankfurter Zeit, so ergab sich für den fraglichen Längenunterschied beider Orte im Durchschnitt aus allen zu Berlin gegebenen Signalen (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für 1852 und 1853):

$$D = t_b - t_f = 18' 51,89'',$$

und das Mittel aus allen Frankfurter Signalen

$$D' = t_b - t_f = 18' 51,77''.$$

Wenn eine messbare Zeit c zwischen der Abgabe und der Ankunft eines Signals verstriche, so hätte man, wenn sich t_b und t_f auf die Momente der Zeichengebung beziehen, die Differenz der Uhrzeiten des Abgangs und der Ankunft für die Berliner Signale

$$D = t_b - (t_f + c)$$

und für die Frankfurter Signale

$$D' = (t_b + c) - t_f.$$

Es müsste also die Differenz D' für die Frankfurter Signale grösser sein als die entsprechende Differenz D für die Berliner Signale. Da dies nun nicht der Fall ist, so liefern diese Versuche zugleich den Beweis, dass die Zeit, in welcher sich der galvanische Strom von Berlin nach Frankfurt fortpflanzt, in der That verschwindend klein ist.

Solche Signale sind aber nicht mehr anwendbar, wenn die beiden Orte zu weit von einander entfernt oder durch Meere getrennt sind. Statt der irdischen Signale muss man alsdann himmlische anwenden, d. h. man beobachtet den Moment, in welchem gewisse Erscheinungen am Himmel, die wir später noch besprechen werden, wie Sternbedeckungen, Verfinsternung von Jupiterstrabanten u. s. w. eintreten. Den Zeitpunkt, in wel-

Wenn diese Erscheinungen an irgend einer der Hauptsternwarten eintreten müssen, erfährt man aus den astronomischen Jahrbüchern, welche von den Astronomen der wichtigsten Observatorien herausgegeben werden und welche die für einige Jahre schon vorausberechneten Momente dieser Erscheinungen enthalten.

So enthält z. B. das Berliner astronomische Jahrbuch für 1853 die Angabe, dass am 20. Mai dieses Jahres eine Bedeckung des Sternes *virginis* durch den Mond stattfinden, und zwar müsste der Stern für Berlin um $13^h 16,4'$ am östlichen Mondrande eintreten. Lorey beobachtete den Eintritt dieses Sternes zu Frankfurt a. M. an demselben Tage um $12^h 56,2'$; demnach betrüge der Längenunterschied zwischen Berlin und Frankfurt $20' 12''$. An diesem Resultate sind aber noch Correctionen anzubringen, welche hier nicht besprochen werden können.

Am einfachsten ergeben sich die Längendifferenzen durch Anwendung guter, gleichförmig gehender Chronometer, welche man von dem einen Orte an den anderen mit hinnimmt. Diese Methode wird vorzugsweise zur Längenbestimmung auf der See angewendet. Diese Chronometer werden für den Meridian irgend einer bedeutenden Sternwarte, z. B. den von Greenwich, regulirt, sie geben also für jeden Augenblick die Greenwicher Zeit an; man hat also nur die Zeit des Ortes, an welchem man sich befindet, mit der des Chronometers zu vergleichen, um daraus die Längendifferenz abzuleiten.

Eine nach dieser Methode gemachte Längenbestimmung wird natürlich um so genauer ausfallen, je regelmässiger und genauer der Gang der Uhr ist. Wo es auf sehr grosse Genauigkeit ankommt, wendet man gleichzeitig mehrere Chronometer an und nimmt das Mittel aus allen einzelnen Bestimmungen; so wurde im Jahre 1824 die Länge von Altona, Helgoland und Bremen in Beziehung auf die Sternwarte von Greenwich durch 35 Chronometer, mit welchen man sechsmal die Reise über das Meer machte, und im Jahre 1843 wurde in gleicher Weise der Längenunterschied der Sternwarte von Pulkawa bei Petersburg und der von Greenwich mit Hülfe von 68 vorzüglichen Chronometern bestimmt.

Wie man die Zeit des Beobachtungsortes selbst ermittelt, werden wir später sehen.

Die umstehende Tabelle enthält die Länge und Breite einiger Hauptsternwarten.

Namen des Ortes.	Geographische Breite. + nördlich. — südlich.	Länge von Berlin in Zeit. + westlich. — östlich.	Oestliche Länge von Ferro in Bogen.
Berlin	+ 52° 30' 16,7''	+ 0 ^h 0' 0''	31° 3' 30,0''
Bonn	+ 50 44 9,1	+ 0 25 8,5	24 46 22,5
Greenwich	+ 51 28 38,2	+ 0 53 35,5	17 39 37,5
Kasan	+ 55 47 23,0	— 2 22 57,0	66 47 45,0
Königsberg	+ 54 42 50,4	— 0 28 25,0	38 9 45,0
Madras	+ 13 4 9,2	— 4 27 28,3	97 55 34,5
München	+ 48 8 45,0	+ 0 7 9,0	29 16 15,0
Paramatta	— 33 48 49,8	— 9 10 30,8	168 41 12,0
Pulkawa	+ 59 46 18,6	— 1 7 43,0	47 59 15,0
Vorgeb. d. g. Hoff.	— 33 56 3,0	— 0 20 19,5	36 8 22,5
Washington	+ 38 53 32,8	+ 6 1 40,1	300 38 28,5
Wien	+ 48 12 35,5	— 0 11 56,4	34 2 36,0

20 **Abplattung der Erde.** Wenn die Erde eine vollständige Kugel wäre, so müsste die Entfernung zweier auf demselben Meridian liegender Punkte, von denen der eine genau 1° nördlicher liegt als der andere, für alle Theile des Meridians genau dieselbe sein; der Bogen vom Aequator bis zu 1° nördlicher Breite müsste also genau so lang sein, wie der Bogen vom 89sten Breitengrade bis zum Pol.

Dies ist nun in der That nicht der Fall. Genaue Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde vorgenommen wurden, haben gezeigt, dass die Länge eines Breitengrades mit der Entfernung vom Aequator zunimmt, wie man aus folgender Tabelle ersieht.

Namen des Landes.	Mittlere Breite.	Länge eines Breitengrades.
Peru	1° 31'	56728,5 Toisen.
Indien	12 32	56795,9 "
Frankreich	46 8	57024,6 "
England	52 2	57066,1 "
Lappland	66 20	57438,0 "

Die Meridiane sind also in der Nähe des Aequators stärker gekrümmt als an den Polen, der Aequatorcaldurchmesser der Erde ist also grösser als der Polardurchmesser, oder mit anderen Worten, die Erde ist an den Polen abgeplattet.

Das Wesentlichste der geodätischen Operationen, durch welche dergleichen Gradmessungen ausgeführt werden, soll im nächsten Paragraphen besprochen werden.

Newton hatte die Abplattung der Erde aus theoretischen Gründen abgeleitet; allein es fehlte an genauen Gradmessungen, welche Newton's Behauptungen hätten bestätigen können, bis die französische Akademie der Wissenschaften gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts eine wissenschaftliche Expedition nach Peru und eine andere nach Lappland veranlasste, um daselbst genane Gradmessungen anzustellen. Die Gradmessung in Peru wurde von Bouguer und Condamine, die in Lappland wurde von Maupertuis, Clairant und Outhier ausgeführt. Die Resultate dieser Messungen setzten die Abplattung der Erde ausser Zweifel.

Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts der Nationalconvent in Frankreich ein neues Maass- und Gewichtssystem einführen wollte, entschied man sich dahin, dass die neue Längeneinheit in einem einfachen Verhältnisse zur Länge eines Erdmeridians stehen sollte, und verordnete deshalb, dass eine neue möglichst genaue Gradmessung ausgeführt werden sollte, mit welcher Delambre und Mechain beauftragt wurden. Sie führten die Messung des Meridianbogens von Dünkirchen bis Barcelona aus. Später ist auf demselben Meridian noch der Bogen von Barcelona bis Formentera (durch Biot und Arago) und von Dünkirchen bis Greenwich gemessen worden. Auch diese Messungen haben gezeigt, dass in der That die Länge eines Breitegrades nach Norden hin zunimmt. Zwischen Formentera und Montjouy ist die Länge eines Breitegrades 56955,4 Toisen, zwischen Dünkirchen und Greenwich ist sie 57097,6 Toisen.

Nachdem Delambre und Mechain ihre Messung beendet hatten, wurde eine Commission von Gelehrten ernannt, um auf dieselbe das neue Maasssystem zu gründen. Die Commission combinirte diese in Frankreich ausgeführte Gradmessung mit den früher in Peru und Lappland erhaltenen Resultaten und folgerte daraus, dass der Erdmeridian eine Ellipse sei, deren Abplattung $\frac{1}{292}$ betrüge und deren vierter Theil (der Bogen vom Aequator bis zum Pol) 5 130 074 Toisen lang sei. Der zehnmillionste Theil des Erdmeridianquadranten wurde als Einheit des Längenmaasses angenommen und Meter genannt.

Das Meter wurde also zu 0,5130074 Toisen oder zu 3' 11,296 Pariser Linien festgesetzt.

Seitdem hat man durch Discussion der älteren und neueren Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde ausgeführt worden waren, gefunden, dass die Abplattung der Erde etwas kleiner sei, als die

französischen Gelehrten ermittelt hatten, dass sie $\frac{1}{299}$ betrage. Diese Modification im Werthe der Abplattung zieht eine entsprechende Aenderung in der Länge des Meridianquadranten nach sich, welcher in der That nicht 10 Millionen Meter, sondern 10 000 856 Meter lang ist.

Die halbe grosse Axe der Meridianellipse, also der Radius des Aequators, hat den erwähnten Messungen zufolge eine Länge von 6 377 398 Metern, die halbe kleine Axe dieser Ellipse aber, also die halbe Entfernung der beiden Erdpole ist 6 356 080 Meter lang.

Da 15 geographische oder deutsche Meilen auf einen Grad des Aequators gehen, so ist also der Umfang des Aequators 5400, der Aequatorealhalbmesser aber 860 deutsche Meilen. Der Polarhalbmesser ist ungefähr um 3 deutsche Meilen kleiner, als der Radius des Aequators.

Um sich eine deutliche Vorstellung von der Abplattung der Erde zu machen, denke man sich ein Umdrehungsellipsoid, dessen Aequatordurchmesser 1 Meter beträgt; es würde dann der Polardurchmesser, also die Umdrehungsaxe, ungefähr um 3 Millimeter kürzer sein müssen, wenn dieser Körper dem Erdellipsoid ähnlich sein sollte. Man begreift wohl, dass eine solche Abplattung dem blossen Auge ganz unmerklich ist und dass genaue Messungen nöthig sind, um sie nachzuweisen.

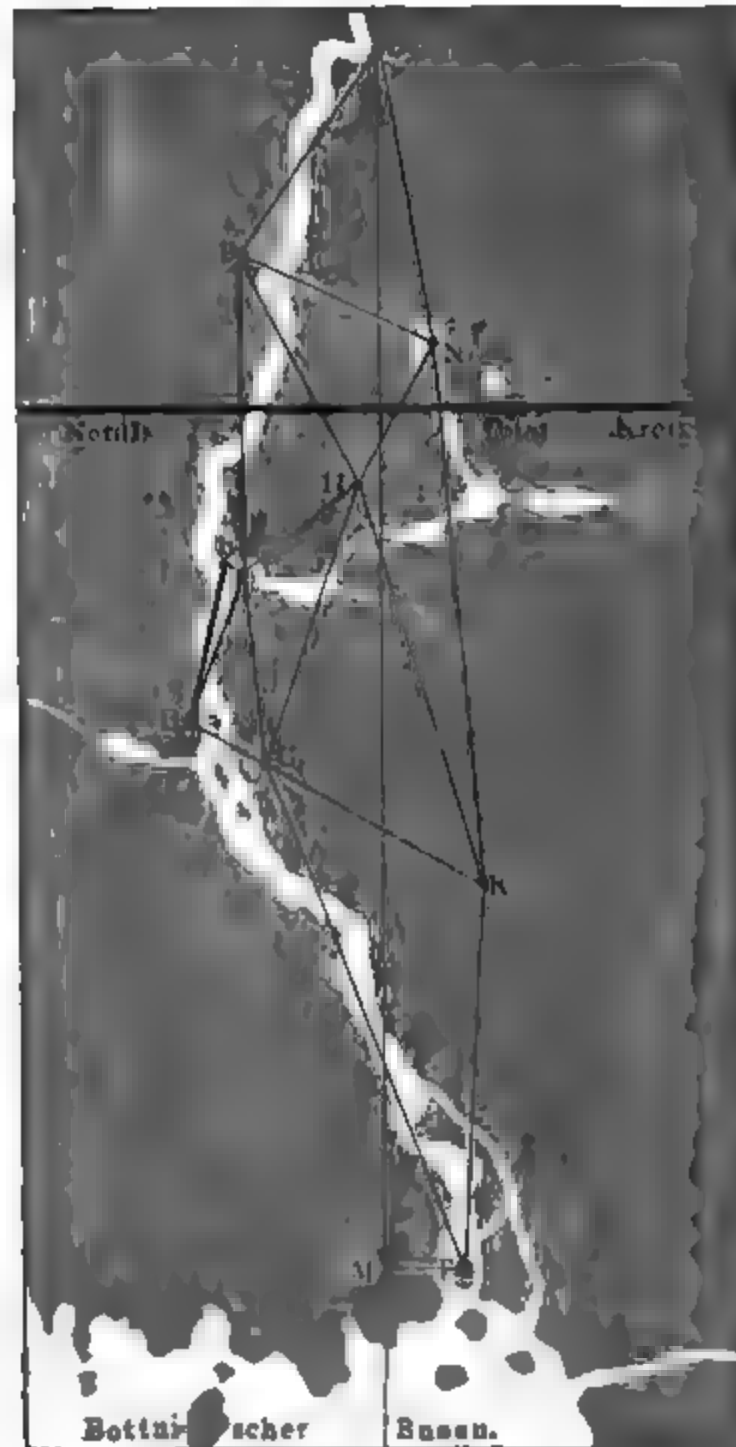
Bedenkt man, dass der höchste Gipfel des Dhawalagiri nur 7820 Meter über der Meeresfläche liegt und dass der Chimborazo nur 6530 Meter hoch ist, so sieht man leicht, dass die Erhebungen der mächtigsten Gebirge kaum in Betracht kommen können im Vergleich zu den Dimensionen der Erde. Auf einem Erdglobus von 1 Meter Durchmesser dürften die Gebirgszüge des Himalaya in Asien und der Andes von Südamerika noch nicht die Höhe von 1 Millimeter erreichen, wenn das richtige Grössenverhältniss eingehalten werden sollte.

21 Gradmessungen. Um die Dimensionen der Erdkugel zu erfahren, muss man die Länge eines Breitegrades ermitteln, d. h. man muss bestimmen, wie gross der nach irgend einem Längenmaass gemessene Abstand zweier Orte desselben Meridians ist, von welchem der ein um 1 Grad nördlicher liegt als der andere.

Eine solche Länge lässt sich nun nicht unmittelbar messen, und deshalb muss hier dasselbe Verfahren befolgt werden, welches überhaupt zur Vermessung grösserer Länderstrecken in Anwendung gebracht wird. Man denkt sich nämlich eine Reihe ausgezeichneter Punkte (Bergspitze, Thürme u. s. w.) durch Visirlinien verbunden und so das ganze Land mit einem Dreiecksnetz bedeckt. Wenn man nun von diesem ganzen Dreiecksnetz nur die Länge einer einzigen Linie, der Basis, ausserdem aber die sämtlichen Winkel der einzelnen Dreiecke gemessen hat, so kann man die Länge sämtlicher Dreieckseiten, also auch den Längenabstand irgend zweier Punkte dieses Dreiecksnetzes berechnen.

So ist z. B. Fig. 45 das Bild eines von Maupertuis in Lappland gemessenen Dreiecksnetzes, dessen nördlichster Punkt *O* die Spitze eines hohen Kittis, der südlichste *T* aber der Kirchturm von Tornea am nördlichen Ende des Bottnischen Meerbusens ist.

Fig 45.



Die Basis *bB* dieses Dreiecksnetzes wurde auf dem Eise des Torneus gemessen und gleich 7407 Toisen gefunden. An diese Basis setzte sich eine Reihe von Dreiecken an, in welchen sämtliche Winkel aber keine weitere Seite mehr gemessen wurde (in unserer Figur der Buchstabe *A*, welcher den dritten Punkt des kleinen Dreiecks *A* bezeichnen soll). Man fand

im Dreieck	den Winkel
BbA	bei B gleich $90^{\circ} 30'$ " b " $77^{\circ} 32'$
ABC	bei B gleich $102^{\circ} 42'$ " A " $22^{\circ} 37'$
AHC	bei A gleich $112^{\circ} 21'$ " C " $30^{\circ} 57'$
AHP	bei H gleich $94^{\circ} 54'$ " A " $53^{\circ} 46'$
PNH	bei P gleich $37^{\circ} 22'$ " H " $49^{\circ} 13'$
$PN O$	bei P gleich $87^{\circ} 52'$ " N " $51^{\circ} 53'$
HCK	bei C gleich $100^{\circ} 10'$ " H " $36^{\circ} 5'$
KTC	bei C gleich $87^{\circ} 9'$ " K " $118^{\circ} 28'$

Die gemessenen Winkel sind hier absichtlich nur auf Minuten angegeben, weil es sich hier ja nur darum handelt, die Methode Gradmessungen anschaulich zu machen.

Nach den gegebenen Daten kann man nun zunächst die Länge jeder Seite dieses Dreiecksnetzes, also die Länge von OP , ON , PH u. s. w. berechnen.

Der nördlichste Punkt dieses Dreiecksnetzes, Kittis, und der südlichste, Tornea, liegen nun aber nicht auf demselben Meridian. In O angestellte Messung ergab, dass das Azimuth der Visirlinie (Kittis-Pullingi) $28^{\circ} 52'$ beträgt oder, mit anderen Worten, dass die Visirlinie OP einen Winkel von $28^{\circ} 52'$ mit dem Meridian der Spitze des Berges Kittis macht. Danach ergibt sich die Lage des Meridians von Kittis wie sie in unserer Figur gezeichnet ist; Tornea liegt also südlich vom Meridian von Kittis.

Denken wir uns von dem Kirchthurme von Tornea ein Perpendikel TM auf den Meridian von Kittis gefällt, so hat der Punkt M gleiche geographische Breite mit dem Kirchthum von Tornea.

Nachdem einmal die Lage des Meridians von Kittis gegen die Linie P festgestellt ist, lässt sich nun auch der Winkel bestimmen, welchen die Seite des Dreiecksnetzes mit diesem Meridian macht. Hat man aber die Länge einer solchen Dreiecksseite bestimmt, so kann man auch die Länge ihrer Projection auf den Meridian von Kittis berechnen.

Denken wir uns nun die Linien ON , NK und KT auf den Meridian von O projecirt, so ist die Summe dieser drei Projectionen gleich M .

Oder es ist OM gleich der Summe der Projectionen von OP , PH , C und CT .

Oder es ist OM gleich der Summe der Projectionen von OP , PA , C und CT u. s. w.

Es lässt sich also die Länge OM aus verschiedenen Seitencombinationen berechnen, welche nahezu dasselbe Resultat geben. Als Mittel aus den zuverlässigsten Combinationen ergab sich

$$OM = 54\,942 \text{ Toisen.}$$

Nachdem nun die Länge des Meridianbogens OM ermittelt war, blieb noch die Differenz der geographischen Breite von Kittis und Tornea zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde zuerst auf Kittis und nachher zu Tornea die Zenithdistanz des Sternes δ draconis zur Zeit seines Durchgangs durch den Meridian gemessen. Die Differenz der beiden Zenithdistanzen ergab sich gleich

$$0^\circ 57' 26,9'',$$

demnach wäre also Kittis um $57' 26,9''$ nördlicher als Tornea. Aus der Beobachtung der Zenithdistanzen des Polarsterns aber ergab sich für die Breitendifferenz zwischen Kittis und Tornea der Werth $57' 30,35''$. Als Mittelergiebt sich also für die Breitendifferenz der beiden Orte der Werth

$$57' 28,6''.$$

Nach diesen Daten lässt sich nun die Länge eines Breitegrades für Lappland leicht bestimmen, denn man hat

$$57' 28,6'' : 1^\circ = 54\,942 : x$$

oder

$$3448,6 : 3600 = 54\,942 : x$$

aus welcher Gleichung sich für x der Werth $57\,438$ Toisen ergibt. In Lappland beträgt also nach den Messungen von Maupertuis die Länge eines Breitegrades

$$57\,438 \text{ Toisen.}$$

Axendrehung der Erde. Im vorigen Capitel haben wir die tägliche Bewegung der Himmelskugel sammt allen Gestirnen kennen gelernt, und es ist nun die Frage, wie diese Erscheinung zu erklären sei. Auf den ersten Anblick scheint es am einfachsten, dem unmittelbaren Eindrucke sich hingebend, diese scheinbare Bewegung für eine wirkliche anzunehmen, d. h. also anzunehmen, dass die Erde feststehe und dass sich das ganze Himmelsgewölbe sammt allen Gestirnen in je 24 Stunden

wirklich um die Weltaxe, und zwar in der Richtung von Ost nach West umdrehe.

Diese Ansicht war im Alterthume und durch das ganze Mittelalter hindurch wirklich die herrschende. In dem Maasse aber, als sich die astronomischen Kenntnisse erweiterten, wurde die Hypothese einer wirklichen täglichen Umdrehung der Himmelskugel mehr und mehr unwahrscheinlich und musste endlich der Lehre von der Axendrehung der Erde weichen.

In der That lassen sich alle Erscheinungen der täglichen Bewegung der Gestirne auch durch die Hypothese vollkommen erklären, dass sich die Erde in 24 Stunden in der Richtung von West nach Ost, also der scheinbaren Bewegung des gestirnten Himmels entgegen, um ihre Axe dreht.

Untersuchen wir nun, welche Gründe gegen die wirkliche Rotation des Himmels und für die Axendrehung der Erde sprechen.

Die Dimensionen der Erde sind verschwindend klein gegen die Entfernung der Gestirne von uns; wenn sie also wirklich in 24 Stunden alle um die Erde herumlaufen sollten, so müsste die Geschwindigkeit dieser Bewegung eine ganz enorme sein.

Eine so grosse Geschwindigkeit ist an und für sich wenig wahrscheinlich, die Unwahrscheinlichkeit wurde aber noch auffallender, nachdem man zu der Ueberzeugung gekommen war, dass es keineswegs ein festes Himmelsgewölbe gebe, an welchem alle Gestirne gleichsam befestigt sind, dass keineswegs alle Sterne gleich weit von uns entfernt, dass wenigstens der Mond, die Sonne und die Planeten uns weit näher sind als die Fixsterne; denn nun hätte man, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung ohne die Axendrehung der Erde zu erklären, annehmen müssen, dass die Gestirne in demselben Maasse schneller in ihren täglichen Bahnen fortlaufen, in welchen sie weiter entfernt sind.

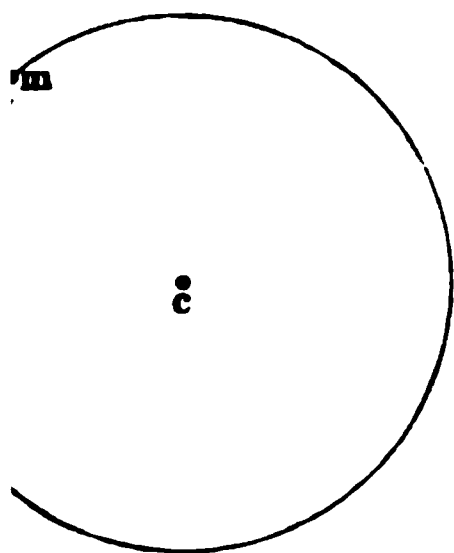
Die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Annahme stieg bis zur Absurdität, nachdem man zu richtigen Vorstellungen über die Grösse und Entfernung der Gestirne gekommen war. Das Volumen der Sonne ist fast $1\frac{1}{2}$ Millionen Mal grösser, als das der Erde, und eine solche Masse sollte in 24 Stunden einen Kreis durchlaufen, dessen Halbmesser 20 Millionen Meilen ist, während die winzige Erde sich nicht einmal um ihre Axe dreht!?

Selbst wenn wir der Fixsterne, welche noch unendlich weiter entfernt sind als die Sonne, gar nicht gedenken, müssten solche Betrachtungen allein schon genügen, die Hypothese von einer wirklichen täglichen Bewegung der Gestirne zu beseitigen, während sich für die Axendrehung der Erde noch weitere Beweise beibringen lassen, die wir sogleich näher betrachten wollen.

Wenn sich die Erde wirklich um ihre Axe dreht, so muss sich die Schwungkraft auf ihrer Oberfläche geltend machen, und zwar muss sie um so bedeutender werden, je mehr man sich dem Aequator nähert.

in Körper m , welcher den Punkt c umkreist (Fig. 46), äussert fortwährend sein Streben, sich von diesem Mittelpunkte zu entfernen, und

Fig. 46.



zwar ist der Weg p , um welchen sich m in einer Secunde von c entfernen würde, wenn andere Kräfte es nicht hinderten und ihn in der Kreisbahn zurückhielten, gleich $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$ (Lehrb. 7. Aufl., I. Bd., S. 263),

wenn r den Halbmesser der Kreisbahn, t die Umlaufszeit in Secunden und π das Peripherieverhältniss 3,14 bezeichnet. Da $2\pi r$ gleich ist dem Umfang des Kreises, den wir mit u bezeichnen wollen, so ist auch

$$p = \frac{3,14 \cdot u}{t^2}.$$

Der Umfang u des Kreises, welchen ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper bei jeder vollen Umdrehung der Erde um ihre Axe zulegen hat, ist nahezu gleich 40 000 000 Meter, die Umlaufszeit 4 Stunden = 86 400 Secunden, und also

$$p = \frac{3,14 \cdot 40\,000\,000}{86\,400^2} = 0,017 \text{ Meter},$$

wenn sich die Erde in 24 Stunden wirklich um ihre Axe dreht, so ist die dadurch entstehende Schwungkraft so gross sein, dass ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper sich in einer Secunde um 0,017 Meter vom Erdmittelpunkte entfernen würde, wenn die Schwere es verhinderte.

In Folge der Axendrehung der Erde muss demnach der Weg, welchen ein frei fallender Körper in der ersten Fallsecunde durchläuft, am Äquator um 0,017 Meter kleiner sein als an den Polen.

Der Fallraum der ersten Secunde in der Nähe der Pole beträgt 1/2 Meter; ist derselbe nun am Äquator in der That um 0,017 Meter kleiner, so wäre demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche niedergezogen wird, in Folge der Axendrehung am Äquator $\frac{1}{292}$ kleiner als an den Polen.

Obwohl eine solche Verminderung der Schwerkraft von den Polen nach dem Äquator hin findet, aber in der That Statt. Beim freien Fall der Körper lässt sich nachzuweisen, würde freilich schwer halten; wir besitzen aber im Pendel ein viel empfindlicheres Mittel, die Intensität der Schwere zu messen, und die Pendelversuche bestätigen diese Abnahme vollständig.

Im Jahre 1672 machte der französische Astronom Richer eine wissenschaftliche Reise nach Cayenne, welches nur 5° nördlich vom Äquator liegt. Als er hier seine Pendeluhr aufstellte, deren Gang zu Paris regulirt worden, fand er, dass sie täglich 2 1/2 Minuten nachgehen musste, er musste das Pendel nahe um 1/4 Linien verkürzen, um den richtigen Gang zu erhalten.

tigen Gang wieder herzustellen. Es konnte dies um so weniger eine Störung der Uhr während der Reise zugeschrieben werden, als die Uhr, nach Paris zurückgebracht, nun wieder 148 Secunden täglich vorging, so dass das Pendel wieder auf seine ursprüngliche Länge gebracht werden musste.

Man stellte später die genauesten Beobachtungen in verschiedenen Gegenden der Erde an, um die Länge des Secundenpendels zu ermitteln. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe solcher von Sabine gemachten Bestimmungen.

Ort.	Breite.	Länge des Secundenpendels in engl. Zoll
St. Thomas	0° 24' 41"	39,012
Ascension	7 55 48 S.	39,024
Jamaika	17 56 7 N.	39,035
New-York	40 42 43 N.	39,101
London	51 31 8 N.	39,139
Drontheim	63 25 54 N.	39,174
Spitzbergen	79 49 58 N.	39,215

Die Länge des Secundenpendels ist durch die Gleichung
$$L = l + m \cdot (\sin. \varphi)^2$$
gegeben, in welcher l die Länge des Secundenpendels auf dem Aequator, L aber die Länge desselben an einem Orte bezeichnet, dessen geographische Breite φ ist. Für Metermaass ist
$$l = 99,0950 \text{ Centimeter}$$
$$m = 0,51768$$

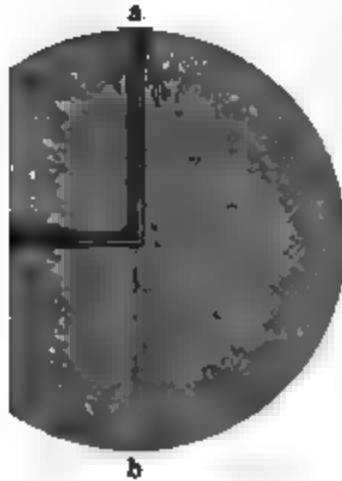
Da nun die beschleunigende Kraft der Schwere der Länge des Secundenpendels proportional ist, so ist durch diese Versuche erwiesen, dass in der That die Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator abnimmt, und diese Abnahme ist im Wesentlichen durch die von der Axendrehung der Erde herrührende Schwungkraft bedingt.

Die Abplattung der Erde selbst, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, ist eine Folge ihrer Axendrehung. Um dies darzustellen wollen wir uns die Erde zunächst als eine feste Kugel denken, in welcher sich zwei Canäle ac und dc befinden, welche im Mittelpunkte der Erde zusammentreffen, und von denen der eine beim Nordpol a , der andere an einem Punkte d des Aequators mündet (Fig. 47). Diese beiden Canäle seien nun mit Wasser gefüllt, so werden beide Wassersäulen durch die Schwerkraft gegen den Mittelpunkt c hin angezogen, und zwar ganz stark, wenn keine Axendrehung stattfindet; in diesem Falle werden die Wassersäulen cd und ca gleich hoch sein müssen, wenn Gleichgewicht

es soll. In Folge der Rotation um die Axe ab wird aber der Schwere, den eine bei d befindliche Wasserschicht erleidet, wie wir haben, um $\frac{1}{289}$ vermindert.

Nehmen wir aber eine zweite in der Aequatorealröhre liegende

Fig. 47.



Wasserschicht bei r , welche nur $\frac{1}{n}$ so weit von c entfernt ist wie d , so ist hier freilich die Schwerkraft n mal geringer, allein auch die Kraft, mit welcher die Schicht r gegen c hin gezogen wird, ist, wie sich aus dem Gesetze der allgemeinen Massenanziehung ergibt, n mal kleiner als das Gewicht einer gleichen Wasserschicht bei d ; mithin ist auch hier bei r der Zug der Schwere gegen c durch die Schwerkraft um $\frac{1}{289}$ kleiner, als sie ohne die Rotation der Erde sein würde,

$\frac{1}{289}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleich weit von c entfernte Schicht p in der Polarröhre wirkt. Da nun dasselbe für entsprechenden Schichten der beiden Röhren gilt, so ist klar, dass durch die Axendrehung der Erde die Gesamtkraft, welche das Wasser in der Röhre dc gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $\frac{1}{289}$ kleiner als die entsprechende Kraft, welche auf das Wasser in der Röhre ca wirkt, also Gleichgewicht stattfinden soll, so muss die Wassersäule in der Aequatorealröhre cd um $\frac{1}{289}$ länger sein als die Wassersäule in der Röhre ca .

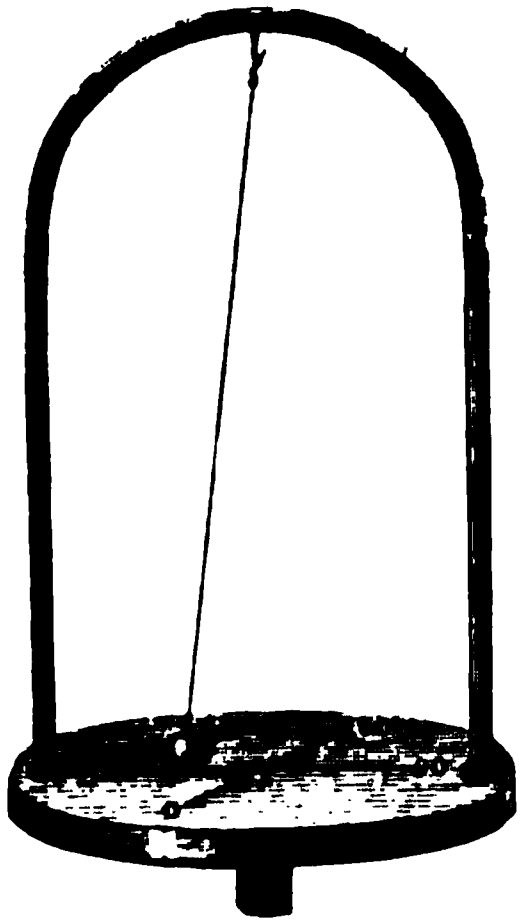
Wenn die ganze Erde eine flüssige, in 24 Stunden um ihre Axe rotirende Kugel wäre, so müsste offenbar zwischen dem Aequatoreal- und dem Polardurchmesser dasselbe Grössenverhältniss bestehen, wie wir es eben für die Wassersäulen in den hypothetischen Röhren berechnet haben, oder, in anderen Worten, die Erde müsste eine Polarabplattung zeigen. Die auf diesem Wege berechnete Abplattung stimmt vollständig mit der durch Gradmessungen ermittelten überein, und die Uebereinstimmung würde noch grösser sein, wenn man alle Umstände bei der Rechnung berücksichtigt hätte. Es ist demnach wohl keinem Zweifel, dass die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung ist, und dass sie zu der Zeit, als sie sich in flüssigen Zustande befand, schon dieselbe Axendrehung hatte.

Cavendish's Pendelversuch. Ein einfaches Pendel, welches in einer bestimmten Ebene schwingt, wird seine Oscillationsebene unverändert behalten, wenn nicht äussere Kräfte es aus derselben ver-

drängen. Dies lässt sich sehr leicht mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 48 (s. f. S.),

welche auf irgend eine verticale Umdrehungsaxe, etwa auf die Schwungmaschine aufgesteckt werden kann, bewerkstelligen. Auf

Fig. 48.



horizontalen runden Brette ist ein von Metalldraht befestigt, von dessen ein Faden herabhängt, welcher eine kugel trägt. In seiner Gleichgewicht fällt dieses einfache Pendel mit der Umdrehungsaxe des Apparates zusammen.

Bringt man das Pendel in der Stellung der mit 0 — 180 bezeichneten aus seiner Gleichgewichtslage, so wird es sich selbst überlassen, über die Linie 0 — 180, also rechtwinklig zur Ebene des Bügels hin- und herschwingen, so dass der ganze Apparat in Ruhe bleibt.

Wird aber die Scheibe um ihre verticale Axe langsam umgedreht, so wird die Schwingungsebene des Pendels denselben Winkel unverändert bleiben, es wird also die Reihe nach ein Durchmesser der Scheibe

nach dem anderen unter der Schwingungsebene des Pendels hindurchgehen. Nach einer Viertel-Umdrehung der Scheibe nimmt der Durchmesser 90 — 270 dieselbe Stellung ein, die ursprünglich 0 — 180 einnahm, in diesem Augenblicke wird also das Pendel in der Ebene des Bügels oscilliren und in Beziehung auf die Scheibe erscheint die Schwingungsebene des Pendels um 90° gedreht. Dauert die Drehung der Scheibe in gleicher Richtung fort, so wird allmählig der Winkel von 90 — 180, dann der von 180 — 270 u. s. w. unter der Schwingungsebene des Pendels hingehen. In dem Maasse, in welchem die Scheibe von der Rechten zur Linken gedreht wird, in dem Maasse wird sich die Schwingungsebene des Pendels in Beziehung auf die Scheibe in entgegengesetzter Richtung, also von der Linken zur Rechten zu drehen.

In demselben Verhältniss, wie dieses Pendel zur gedrehten Scheibe verhalten würde, würde sich offenbar ein gerade über dem einen Pol, etwa dem Nordpol der Erde, aufgehängtes Pendel zur Erdoberfläche verhalten. Nehmen wir an, das Pendel werde in der Ebene, welche in diesem Maasse die Ebene der Meridiane 0 — 180 einnimmt, in Schwingung versetzt, so wird es in dieser Schwingungsebene verharren, während die Erde ihren Meridianen unter dem in unveränderter Lage bleibenden Schwingungsbogen des Pendels fortrotirt.

Bei der fortdauernden Rotation der Erde werden also der Reihe nach die verschiedenen Meridiane unter dem Schwingungsbogen des Pendels durchpassiren; in Beziehung auf die Erdoberfläche scheint sich die Schwingungsebene des Pendels zu drehen und zwar in der Richtung von Ost nach West, weil die Erde in entgegengesetzter Richtung

Ein Pendel, welches ursprünglich in der Richtung vom Nordpol nach Paris hin oscillirte, wird nach 2 Stunden gegen die Ostküste von Grönland, nach 4 Stunden gegen Newfoundland hin schwingen.

Ein an irgend einer Stelle des Erdäquators aufgehängtes Pendel kann von einer solchen scheinbaren Drehung der Schwingungsebene natürlich nichts zeigen, denn unter dem Aequator hat der Meridian in Bezug auf die Pendelebene gar keine drehende, sondern nur eine fortschreitende Bewegung, an welcher das Pendel Theil nimmt. Hat man auf dem Aequator ein Pendel etwa in der Ebene des Meridians in Schwingung versetzt, so wird die Schwingungsebene auch im Meridian bleiben.

An allen zwischen dem Pol und dem Aequator befindlichen Punkten wird nun die Schwingungsebene des Pendels in Folge der Axendrehung der Erde eine Drehung zeigen müssen, und zwar auf der nördlichen Hemisphäre in der Richtung Ost, Süd, West u. s. w., auf der südlichen aber in der Richtung Ost, Nord, West u. s. w. Die Grösse dieser Drehung wird aber in gleichen Zeiten um so bedeutender sein, je näher man sich dem einen Pole befindet.

Foucault war es, der zuerst auf den glücklichen Gedanken kam, dass die scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines einfachen Pendels eine nothwendige Folge der Umdrehung der Erde sei, dass man also mittelst eines solchen Pendels, welches stundenlang fortschwingt, einen directen Beweis für die Axendrehung der Erde liefern kann.

Der Versuch bestätigte seine Erwartung vollständig. Das erste Pendel, mit welchem er experimentirte, war nur 2 Meter lang und hatte eine 5 Kilogramm schwere Kugel. Nachdem er an demselben die Erscheinung zuerst beobachtet hatte, wiederholte er den Versuch mit einem 11 Meter langen Pendel im Meridiansaale der Pariser Sternwarte und endlich mit einem Pendel von 67 Meter Länge im Pantheon zu Paris, welches zu Anfang des Jahres 1852 in hohem Grade das Interesse des grossen Publicums erregte.

Die unten mit einer Spitze versehene Kugel dieses Pendels wog 28 Kilogramm und hing an einem Stahldraht. Bei dieser Masse des Pendels sind seine Schwingungen nach 5 bis 6 Stunden noch hinreichend gross, um deutlich beobachtet zu werden, wenn die Kugel ursprünglich etwa um 10 Fuss aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt worden war.

Um die Drehung der Schwingungsebene des Pendels gegen die Erdoberfläche beobachten und messen zu können, wird auf dem Boden eine kreisförmige getheilte Scheibe angebracht, deren Mittelpunkt m , Fig. 49 (a. f. S.), vertical unter dem Aufhängepunkt o des Pendels liegt. Nehmen wir an, dass die Pendelkugel zu Anfang ihrer Bewegung gerade über dem Durchmesser ab hinschwinge, so wird sie nach der Zeit t , $2t$, $3t$ u. s. w. in der Richtung eines Durchmessers schwingen, welcher einen Winkel von 10, 20, 30 u. s. w. Grad mit ab macht.

Es versteht sich von selbst, dass der Ort, an welchem das Fou-

Foucault'sche Pendel aufgehängt ist, vor Luftströmungen geschützt ebenso muss dafür gesorgt sein, dass die Pendelkugel beim Beginn Oscillationen frei von jeder seitlichen Bewegung ist. Es wird

Fig. 49.

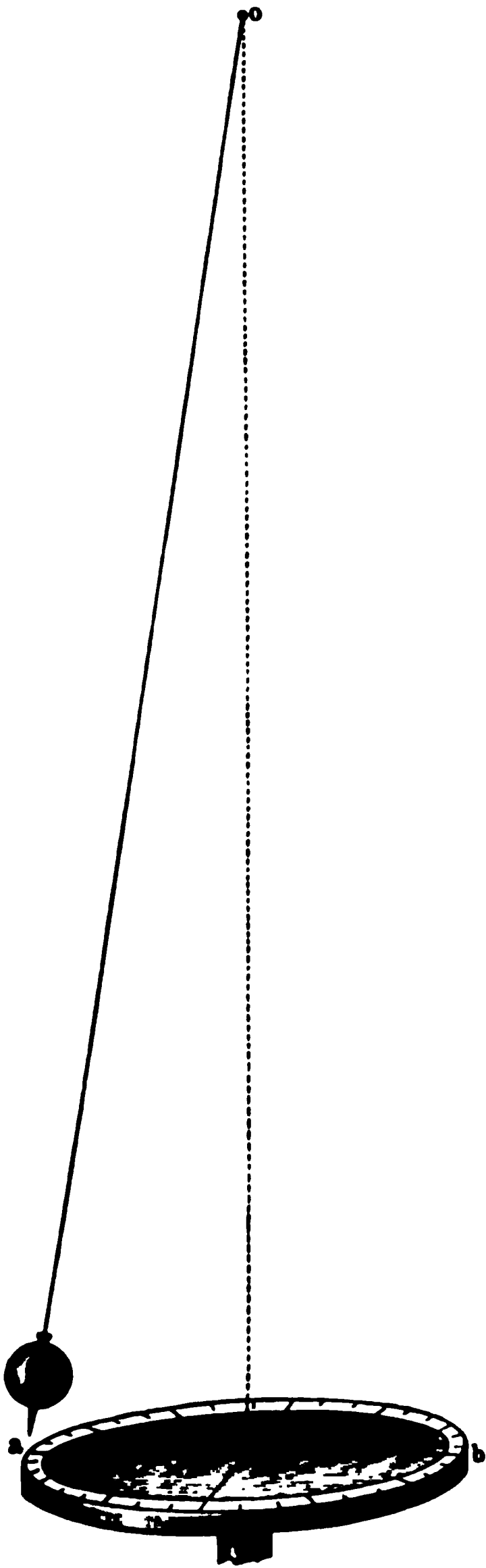
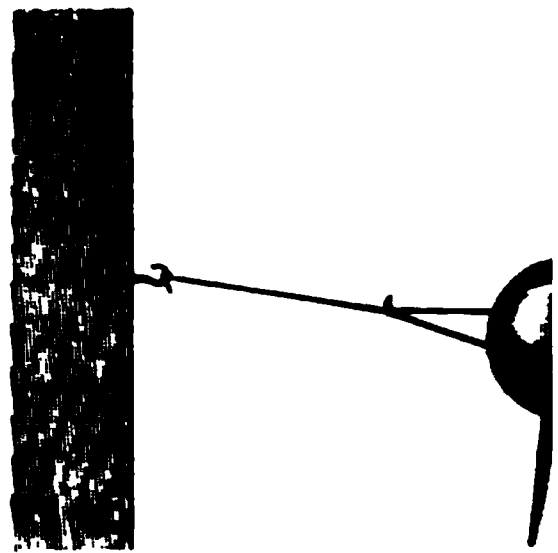


Fig. 50.



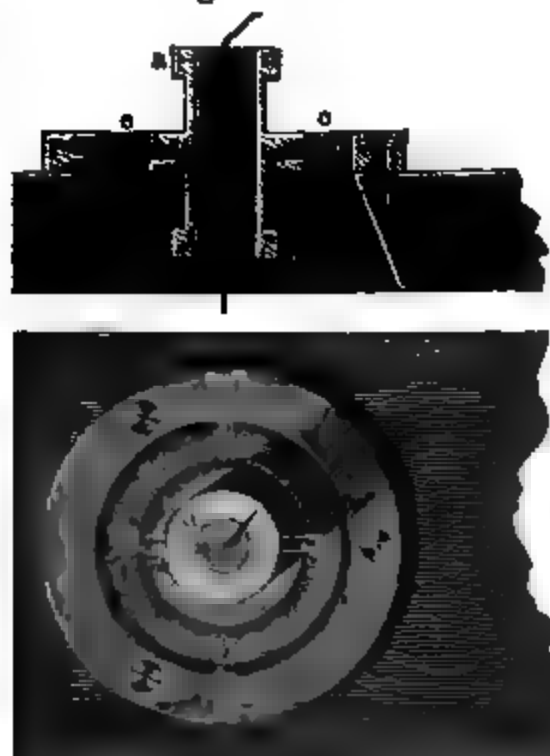
folgende Weise erreicht: In ihrer Gleichgewichtslage der Kugel wird, wie man in der Abbildung sieht, mit einem Faden ein Ring angebracht, welcher an einem seitlichen festen Gegenstand befestigt ist. Wenn nun die Pendelkugel in eine andere Lage vollständig zur Ruhe gekommen ist, wird unter Vermeidung jeder Erschütterung der Faden an einem angezündeten Holzchens abgebrannt und die Oscillationen des Pendels in der Ebene der Zeichnung geleitet.

Bei dem Foucault'schen Versuch war das obere Ende des Drahtes durch ein gleiches Loch in einer starken Metallplatte gezogen und an der oberen Fläche dieser Metallplatte befestigt; die Metallplatte selbst war aber unbeweglich an dem Stativ befestigt, von welchem das Pendel herunter hing.

Um jede, von einer Torsion oder Biegung des Stativs herrührende Störung zu vermeiden kann man auch die Cardan'sche Aufhängung in Anwendung

be in Fig. 51 in einer Form dargestellt ist, welche ursprünglichen anderen, später zu besprechenden Apparat construiert war.

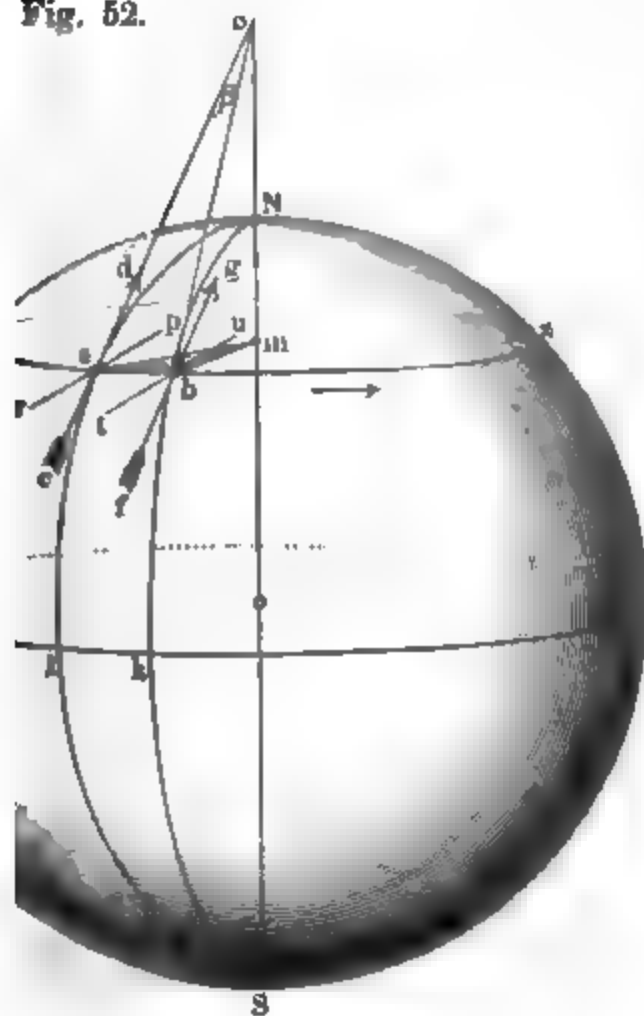
Fig. 51.



$\frac{1}{2}$

ander gegenüberstehenden Zapfen *o* und *p* drehbar ist. Die horizontalen Zapfen *o* und *p* sind aber von dem Messingringe *c* welcher selbst wieder um die diametral einander gegenüber-

Fig. 52.



Das obere Ende des Aufhängedrahtes ist in der Axe einer Messinghülse ausgespannt und dann die Höhlung derselben mit Blei ausgegossen. Um zu verhindern, dass der Draht etwa durch das Gewicht der Pendelkugel aus der Bleimasse herausgezogen wird, kann man sein oben aus der Bleimasse hervorragendes Ende umbiegen und zwei- oder dreimal um die Messinghülse herum winden. In ihrer Mitte nun ist die Hülse *ab* von einem Messingring umgeben, welcher um die dia-

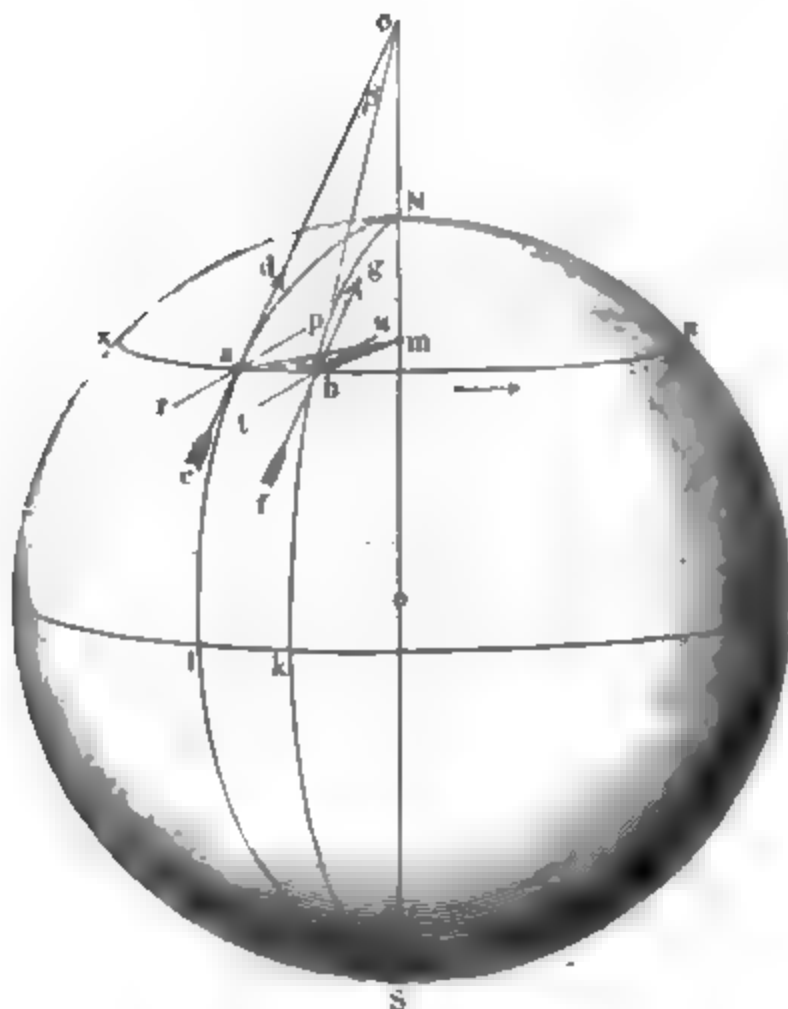
stehenden Zapfen *r* und *s* drehbar ist, deren Axe rechtwinklig steht zu der Axe von *o* und *p*. Die Zapfen *r* und *s* endlich sind von einem Messingringe *d* getragen, welcher auf einem die ganze Vorrichtung tragenden Brett befestigt wird.

Untersuchen wir nun, welches die Grösse der scheinbaren Drehung der Schwingungsebene, welche am Pol offenbar 15° in der Stunde beträgt, für verschiedene Orte der Erdoberfläche sein muss.

Fig. 52 stelle die Erdkugel, *NS* die Umdre-

hungsaxe derselben vor; es sei ferner $xabs$ der Parallelkreis, chem der Pendelversuch angestellt wird, und m sei der Mit dieses Parallelkreises.

Fig. 53.



Lässt man nun in a das Pendel schwingen, so wird die Linie die Pendelkugel bei ihrem Hin- und Hergange beschreibt, eine Linie sein (wenn man von der geringen Krümmung abstrahirt) in der Horizontalebene von a liegt. Lässt man das Pendel p der Richtung des Meridians, also in der Richtung schwingen, Fig. 52 durch den Pfeil cd bezeichnet ist, so ist die verlängerte gungslinie jedenfalls eine Tangente an den Meridian Nal . D gente schneidet die verlängerte Erdaxe in o . Der Winkel ao geographische Breite des Ortes a , welche wir mit φ bezeichnen

In Folge der Axendrehung der Erde gelangt aber der nach einiger Zeit an die mit b bezeichnete Stelle und die in Meridian gelegte Tangente hat jetzt die Lage bo , die Pendelkugel welche vermöge der Trägheit ihre ursprüngliche Schwingung beizubehalten strebt, oscillirt parallel mit cd in der Richtung Schwingungen des Pendels fallen also jetzt nicht mehr mit der des Meridians zusammen, sondern sie machen mit demselben ein Winkel gbo , welcher als Wechselwinkel dem Winkel aob gleich wir kurz mit β bezeichnen wollen.

Während sich also die Erde um ihre Axe um den Winkel

dreht, dreht sich die Schwingungsebene des Pendels in Beziehung auf die Richtung des Meridians um den Winkel β , dessen Werth nunmehr ermittelt werden muss. Es ist:

$$\alpha : \beta = b_0 : b_m;$$

es ist aber $bm = b_o \cdot \sin. \varphi$, $bom = b_o \cdot \sin. \varphi$, folglich haben wir

$$\alpha : \beta = 1 : \sin. \varphi,$$

$$\beta = \alpha \cdot \sin. \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Man erhält also den Winkel, um welchen sich die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels an irgend einem Ort der Erdoberfläche in einer gegebenen Zeit gegen den Meridian des Ortes drehen muss, wenn man die gleichzeitige Drehung des Polarpendels mit dem Sinus der geographischen Breite des Beobachtungsortes multiplicirt.

Da sich nun die Schwingungsebene eines auf dem Pole aufgehängten einfachen Pendels in einer Stunde um 15° dreht, so ist $15 \cdot \sin. \varphi$ die Anzahl der Grade, um welche sich in einer Stunde die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels an einem Orte drehen muss, dessen geographische Breite φ ist.

Die fragliche Drehung der Schwingungsebene nimmt also ab mit der Entfernung vom Pol, sie wird $= 0$ auf dem Äquator, weil hier $\varphi = 0$. Die folgende Tabelle giebt für einige Orte die Drehung der Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels während einer Stunde an:

Ort.	Geograph. Breite.	Grösse der Drehung in einer Stunde.
Nordpol	90° —	15°
Königsberg	54° 42'	12,83
München	48 8	11,31
Rom	41 54	10,16
Mexico	19 25	5,04
Cayenne	4 56	1,31

Wir waren in obiger Demonstration der Einfachheit der Betrachtung wegen von der Annahme ausgegangen, dass die Schwingungsebene des Pendels in a ursprünglich in der Richtung des Meridians stattfindet; es ist übrigens durchaus nicht nöthig, dass man gerade von dieser Schwingungsrichtung ausgehe. Nehmen wir an, das Pendel schwinde ursprünglich in der Richtung rp (Fig. 53), welche einen Winkel pao mit dem Meridian macht, so wird, wenn der Beobachtungsort von a nach b gelangt ist, nun die Schwingungsrichtung tu des Pendels einen Winkel uob mit dem Meridian machen, welcher um gbo , also um β grösser ist als pao , die Schwingungsebene hat sich also auch jetzt scheinbar um

den Winkel β gedreht, also gerade so viel, als ob die Schwingungen in der Meridianebene begonnen hätten.

Obgleich die Axendrehung der Erde schon vorher zu den unzweifelhaftesten Lehren der Physik gezählt wurde, so erregte doch der Foucault'sche Pendelversuch in der ganzen physikalischen Welt das grösste Interesse; er wurde an vielen Orten wiederholt und überall bestätigt gefunden, wo man hinreichend lange Pendel mit genügender Sicherheit aufgehängt und Alles beseitigt hatte, was störend auf die Regelmässigkeit des Ganges hätte einwirken können.

Zu den gelungensten Wiederholungen des Foucault'schen Pendelversuchs in Deutschland sind besonders die von Schwerd im Speyerer und die von Garthe im Kölner Dome angestellten zu rechnen.

Drittes Capitel

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe. Dass 24 die Sonne ihre Stelle am Fixsternhimmel fortwährend ändert, geht schon aus der oberflächlichsten Beobachtung hervor. Während sie nämlich gegen Ende März gerade im Osten aufgeht, geht sie im Sommer weit mehr nördlich, im Winter weit mehr südlich auf. Im Sommer ist ihr Tagbogen, im Winter ist ihr Nachtbogen grösser, und daraus folgt, dass sie während des Sommers nördlich, während des Winters südlich vom Himmelsäquator steht. Aber nicht allein rechtwinklig zu dem Aequator bewegt sich die Sonne, sondern auch parallel mit demselben, was daraus hervorgeht, dass zu derselben Tageszeit in verschiedenen Jahreszeiten immer andere Sterne culminiren, wie wir bereits S. 15 gesehen haben.

Am 10. Januar culminiren um Mitternacht: Castor und Pollux im Sternbild der Zwillinge und Procyon im Sternbild des kleinen Hundes. Daraus folgt, dass die Rectascension der Sonne um diese Zeit um 180° grösser ist, als die der genannten Sterne, dass sie also der Sternkarte Tab. IV. zufolge ungefähr 294° beträgt. Da nun ferner am 10. Januar die südliche Declination der Sonne ungefähr 20° ist, so lehrt ein Blick auf die erwähnte Karte, dass um diese Zeit die Sonne im Sternbild des Schützen steht. Dass also Leyer, Schwan, Adler u. s. w. diejenigen Sternbilder sind, welche gerade an dem bezeichneten Tage zur Mittagszeit dem Meridian nahe stehen.

Die Bahn, welche die Sonne am Himmel zurücklegt und welche den Namen der Ekliptik führt, ergiebt sich ganz einfach, wenn man nach der im Cap. I, §. 12, entwickelten Methode in bestimmten Zeitintervallen, etwa von Tag zu Tag, die Rectascension und Declination der Sonne bestimmt.

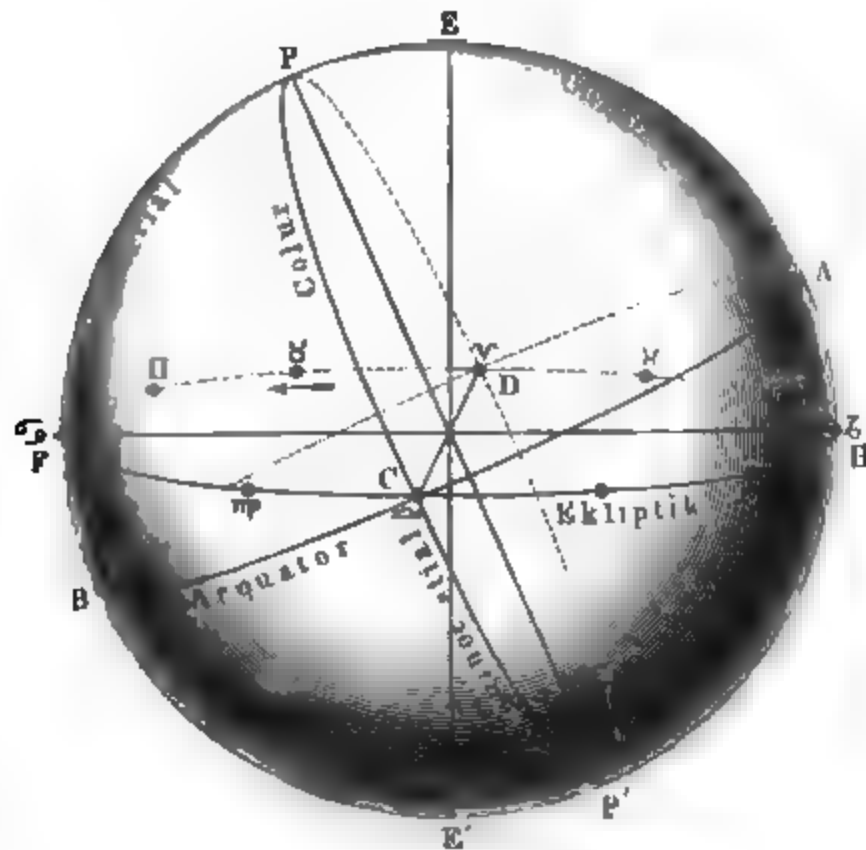
Die folgende Tabelle giebt die Rectascension und Declination der Sonne für das Jahr 1855 von 8 zu 8 Tagen, und zwar im Moment des wahren Berliner Mittags.

Tag.	Rectascension.		Declination.	
1. Januar	18 ^h	45,8'	29 ^o	2,5' südlich
9. "	19	21,0	22	9,2 "
17. "	19	55,5	20	48,3 "
25. "	20	29,4	19	2,1 "
2. Februar	20	58,2	17	10,9 "
10. "	21	34,4	14	26,5 "
18. "	22	5,6	11	43,8 "
26. "	22	36,2	8	49,4 "
6. März	23	6,1	6	9,8 "
14. "	23	35,5	2	38,9 "
22. "	0	4,7	0	30,7 nördlich
30. "	0	33,8	3	38,9 "
7. April	1	2,9	6	42,6 "
15. "	1	32,3	9	39,1 "
23. "	2	2,0	12	25,5 "
1. Mai	2	32,2	14	58,8 "
9. "	3	3,0	17	16,3 "
17. "	3	34,5	19	15,5 "
25. "	4	6,5	20	42,7 "
2. Juni	4	39,0	22	9,2 "
10. "	5	11,9	23	0,0 "
18. "	5	45,1	23	25 "
26. "	6	18,4	23	23,5 "
4. Juli	6	57,5	22	55,9 "
12. "	7	24,3	■	2,7 "
20. "	7	56,7	20	45,2 "
28. "	8	28,4	19	5,5 "
6. August	8	59,5	17	5,6 "
14. "	9	30,0	14	48,0 "
21. "	9	59,9	12	15,2 "
29. "	10	29,3	9	30,0 "
6. September	10	53,3	6	35,2 "
14. "	11	27,1	3	33,3 "
22. "	11	55,8	0	27,3 "
30. "	12	24,6	2	39,9 südlich
8. October	12	53,7	5	45,4 "
16. "	13	23,3	8	46,2 "
24. "	13	53,5	11	39,0 "
1. November	14	24,4	14	20,4 "
9. "	14	56,1	16	49,2 "
17. "	15	28,9	18	55,7 "
25. "	16	2,3	20	42,5 "
3. December	16	36,7	22	4,7 "
11. "	17	11,7	22	59,7 "
19. "	17	47,1	23	25,6 "
27. "	18	22,6	23	21,5 "

Nach dieser Tabelle sind die Sonnenorte der genannten Tage in der Sternkarte Tab. IV. eingetragen und durch eine krumme Linie verbunden. Bei genauerer Untersuchung ergibt sich nun, dass die Bahn, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf dem Himmelsgewölbe durchläuft, ein grösster Kreis ist, wie man am leichtesten übersieht, wenn man die Sonnenorte der obigen Tabelle nicht in einer ebenen Himmelskarte, sondern auf einem Himmelsglobus aufträgt.

Fig. 54 dient dazu, die gegenseitige Lage des Himmelsäquators und der Ekliptik anschaulich zu machen. PP' ist die Axe der Himmels-

Fig. 54.



kugel, $ACBD$ ist der Aequator, $HCFD$ die Ekliptik. Diese beiden Kreise schneiden sich in den Punkten D und C , welche den Namen die Äquinoktialpunkte führen, weil in der Zeit, wo die Sonne sich in denselben, also auf dem Himmelsäquator befindet, Tag und Nacht gleich sind. Den einen dieser Punkte passiert die Sonne am 21. März, den anderen am 22. September.

Aus der Sternkarte Tab. IV. sehen wir, dass der Punkt, in welchem die Sonne am 21. März den Aequator passiert, im Sternbild der Fische liegt. Dies ist der Punkt des Frühlingsäquinocciums, der Punkt, von welchem aus die Rectascension der Gestirne gezählt wird. Man nennt diesen Punkt auch kurz den Frühlingspunkt.

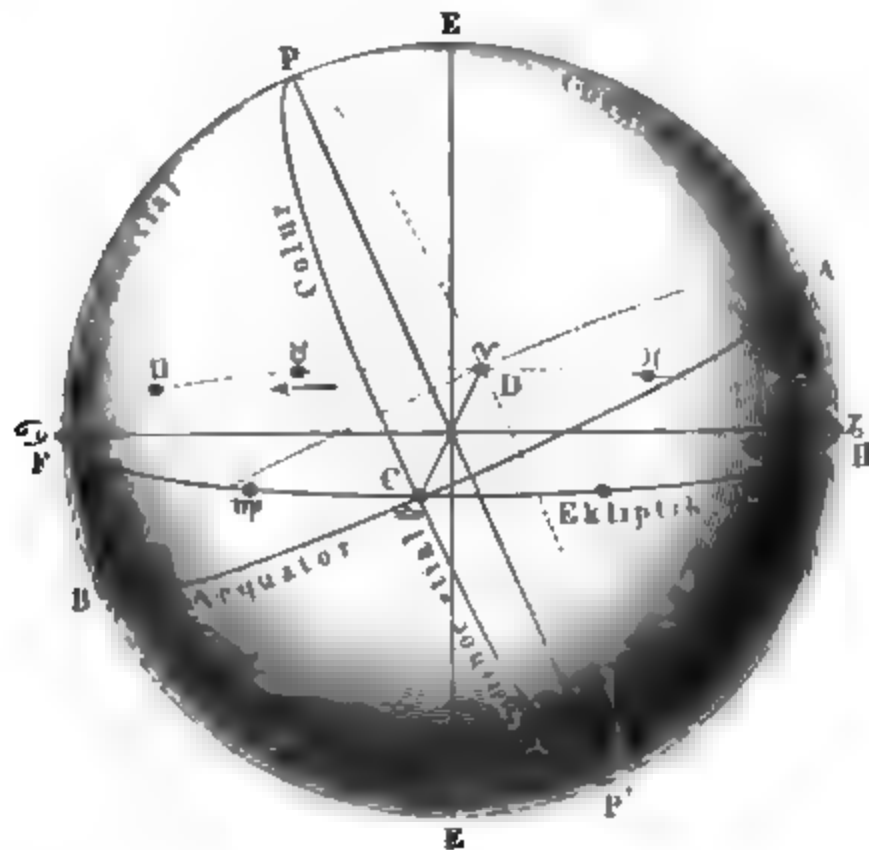
Der Punkt des Herbstäquinocciums, der Herbstpunkt, welchen die Sonne am 22. September passiert, liegt im Sternbild der Jungfrau. Vom 21. März bis zum 22. September bleibt die Sonne auf der

nördlichen Hemisphäre des Himmels; am 22. September tritt sie auf die südliche Halbkugel, welche sie erst am 21. März wieder verlässt.

Am 22. Juni erreicht die Sonne ihre grösste nördliche, am 22. December ihre grösste südliche Declination von $23^{\circ} 28'$, woraus sich ergibt, dass der Winkel, welchen die Ebene der Ekliptik mit der Ebene des Aequators macht, $23^{\circ} 28'$ beträgt. Dieser Winkel wird die Schiefe der Ekliptik genannt.

Die Punkte *F* und *H*, Fig. 55, in welchem die Sonne ihre grösste nördliche und ihre grösste südliche Declination erreicht, heissen die Punkte der Sonnenwende oder die Solstitialpunkte.

Fig. 55.



Die Kreise *PDP'C* und *PBP'A*, Fig. 55, werden Coluren genannt, und zwar ist der Kreis, welcher durch die beiden Himmelspole und die Aequinoctialpunkte *C* und *D* geht, der Aequinoctialcolur, während der Kreis, welcher durch die Himmelspole und die Solstitialpunkte *F* und *H* geht, der Solstitialcolur genannt wird.

Die Ebenen der beiden Coluren machen einen Winkel von 90° mit einander.

- 25 **Pol der Ekliptik, Länge und Breite am Himmel.** Je zwei grösste Kreise der Himmelskugel, welche rechtwinklig auf der Ekliptik stehen, schneiden sich in den Punkten *E* und *E'*, welche sich zu der Ekliptik gerade so verhalten, wie der Nord- und Südpol des Himmels zu dem Himmelsäquator; diese Punkte sind die Pole der Ekliptik.

Da der Solstitialcolur auch rechtwinklig auf der Ekliptik steht, so

die Pole der Ekliptik nothwendig auf dem Solstitialcolur liegen, ar stehen sie auf diesem Solstitialcolur um 90° von den Solstisten *F* und *H* der Ekliptik ab, sie liegen also 23° 28' von den *P* und *P'* des Aequators entfernt.

r nördliche Pol der Ekliptik liegt in dem Sternbilde des Drachen; Sternkarte Tab. III. ist er besonders bezeichnet.

e Ekliptik kann zur Ortsbestimmung auf der Himmelskugel ebenen, wie der Himmelsäquator. Denkt man sich durch irgend einen und den Pol der Ekliptik einen grössten Kreis gelegt, so heisst enstück zwischen dem Stern und der Ekliptik die Breite des man kann die Breite eines Sternes auch als den Winkelabstand n von der Ekliptik bezeichnen.

e Länge des Sternes aber ist der auf der Ekliptik nach Osten Bogen vom Frühlingspunkte an bis zu dem Punkte, in welchem ch den Stern und den Pol der Ekliptik gelegte grösste Kreis die schneidet.

n sieht also, dass Länge und Breite für die Himmelskugel eine Bedeutung haben, als für die Erdkugel. Auf der Erdkugel wer- Längen auf dem Aequator, auf der Himmelskugel werden sie Ekliptik abgelesen.

sich die Sonne auf der Ekliptik nach Osten hin fortbewegt, so ihre Breite von Tag zu Tag zu, bis sie zur Zeit des Frühlingsiums wieder in dem Punkte anlangt, von welchem aus die Länge wird, nämlich im Frühlingspunkte.

folgende Tabelle giebt die Länge der Sonne von 8 zu 8 Tagen wahren Berliner Mittag im Jahre 1855:

	Länge.	Tag.	Länge.	Tag.	Länge.
Mr.	280° 32,6'	1. Mai.	40° 29,6'	6. Septbr.	163° 15,8'
	288 41,7	9. "	48 14,0	14. "	171 3,0
	296 50,7	17. "	55 57,0	22. "	178 52,1
	304 59,1	25. "	63 38,4	30. "	186 43,1
uar.	313 6,4	2. Juni.	71 18,3	8. Octbr.	194 36,5
	321 12,4	10. "	78 57,4	16. "	202 32,1
	329 17,2	18. "	86 35,9	24. "	210 29,8
	337 20,2	26. "	94 13,7	1. Novbr.	218 29,4
	345 21,1	4. Juli.	101 51,2	9. "	226 31,2
	353 20,1	12. "	109 28,9	17. "	234 34,9
	1 17,2	20. "	117 7,0	25. "	242 40,0
	9 11,9	28. "	124 45,5	3. Decbr.	250 46,5
L	17 4,4	5. August.	132 24,8	11. "	258 54,3
	24 54,9	13. "	140 5,5	19. "	267 2,9
	32 43,3	21. "	147 47,4	27. "	275 11,9
		29. "	155 30,7		

Da die Sonne die Ekliptik nicht genau in 365 Tagen durchläuft, sondern dazu nahe $365\frac{1}{4}$ Tag braucht, so wird sie auch am Mittag eines bestimmten Tages nicht genau an derselben Stelle der Ekliptik stehen, an welcher sie sich an dem Mittag desselben Tages im vorigen Jahre befand. So war z. B. die Länge der Sonne zur Zeit des wahren Sonnenmittags am 22. März 1854 gleich $1^{\circ} 31,5'$. Am Mittag des 22. März 1855 hatte sie diesen Punkt noch nicht wieder erreicht, da ihre Länge dieser Zeit nur $1^{\circ} 17,2'$ betrug. Daraus ergibt sich nun, dass Rectascension und Declination der Sonne für den wahren Mittag gleichen Monatstage in verschiedenen Jahren nicht dieselbe sein kann.













Auf diese Weise würde die Länge der Sonne für den gleichen Tag fortwährend abnehmen, wenn man nicht alle vier Jahre die Einschaltung eines Tages (Schalttag) eine Ausgleichung zu Stande brächte, von welcher weiter unten ausführlicher die Rede sein soll.

Die astronomischen Jahrbücher oder Ephemeriden, welche stetig einige Jahre voraus berechnet werden, enthalten für jeden Tag des Jahres und zwar für den wahren Mittag der Sternwarte, auf welche sie beziehen, die Länge, die Rectascension und die Declination der Sonne bis auf Bruchtheile von Secunden genau.

26 Der Thierkreis. Die Sternbilder, welche die Sonne durchläuft, sind (Tab. IV.) der Reihe nach: die Fische, der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Krebs und der Löwe auf der nördlichen, die Jungfrau, die Wage, der Scorpion, der Schütze, der Steinbock und der Wassermann auf der südlichen Hemisphäre des Himmels.

Der Gürtel dieser zwölf von der Sonnenbahn durchschnittenen Sternbilder wird der Thierkreis oder der Zodiacus genannt.

Früher theilte man die Ekliptik zuerst in zwölf gleiche Theile, und dann jeden derselben wieder in 30° , wodurch dann ebenfalls die Zeichen der Ekliptik herauskommen. Diese zwölf Theile nennt man die Zeichen der Ekliptik. Diese Zeichen führen die Namen benachbarter Sternbilder des Thierkreises, und zwar heissen sie vom Frühlingspunkte an nach Osten gerechnet:

					
Widder,	Stier,	Zwillinge,	Krebs,	Löwe,	Jungfrau,
					
Wage,	Scorpion,	Schütze,	Steinbock,	Wassermann,	Fische,

Auf Tab. IV. ist der Anfangspunkt eines jeden dieser zwölf Zeichen durch die ihm entsprechende Figur angedeutet.

Das Zeichen des Widders entspricht also der Länge von 0° bis 30° , das Zeichen des Stiers von 30° bis 60° . Das Zeichen der Wage erstreckt sich vom 180° bis 210° Längengrade u. s. w.

Man sieht, dass die Zeichen der Ekliptik mit den gleichnamigen Sternbildern nicht zusammenfallen. Die Sonne befindet sich im Zeichen des Widders, während sie im Sternbilde der Fische

e in das Sternbild des Widders übergeht, so tritt sie in das n des Stiers u. s. w., kurz, jedes Zeichen der Ekliptik führt den des nach Osten hin an dasselbe gränzenden Sternbildes. Wenn ne sich im Zeichen des Krebses befindet, so steht sie im Stern- r Zwillinge.

ohr diese Verschiedenheit zwischen Zeichen und Sternbild rührt, den wir in einem späteren Capitel sehen.

Jahre und mittlere Sonnenzeit. Die Sonne schreitet auf 27 iptik in der Richtung von Westen nach Osten voran, also der n Bewegung der Gestirne entgegen. Daher kommt es denn, dass, eits in §. 3 angeführt wurde, der Sonnentag länger ist als der g; denn wenn heute die Sonne gleichzeitig mit einem bestimmten culminirt, so wird bis zu dem Momente, in welchem derselbe Stern wieder culminirt, die Sonne etwas nach Osten hin fortgeschrit-, also etwas später als der fragliche Stern in den Meridian treten.

ist nun leicht, das auf S. 11 bereits angegebene Verhältniss n Sternzeit und mittlerer Sonnenzeit zu berechnen. Die Zeit, die Sonne braucht, um, vom Frühlingspunkte ausgehend, wieder elben anzukommen, die Zeit also, welche die Sonne braucht, um ze Ekliptik einmal zu durchlaufen, nennen wir das Jahr. Das t (annähernd) 365 Tage; auf diese 365 Tage kommen aber 366 ge, da ja die Sonne während dieser Zeit gerade einmal um den herumgegangen ist. Das Verhältniss des Sonnentages zum Stern-

also $\frac{366}{365} = 1,00274$, und daraus folgt, dass 1 Stunde Sonnen-

ich ist $1^h 0' 9,8''$ Sternzeit, wie bereits oben angegeben wurde.

ährend nun ein Sterntag dem anderen vollkommen gleich ist, die Sonnentage keineswegs eine gleiche Dauer. Wenn alle Son-

gleich sein sollten, so müsste die Aenderung in der Rectascen- Sonne von einem Tage zum anderen das ganze Jahr hindurch men gleich bleiben. Das ist aber nicht der Fall, wie man aus uelle auf S. 78 leicht ansehen kann. Vom 12. bis zum 20. Juli dert sich die gerade Aufsteigung der Sonne um 32,4 Minuten, d sie vom 19. bis 27. December um 35,5 Minuten zunimmt, wor- n entnehmen kann, dass die Zeit, welche von einer Culmination ne bis zur folgenden vergeht, im December etwas grösser ist als

rei Ursachen wirken hier zusammen, um die erwähnte Ungleich- r. Sonnentage hervorzubringen. Diese Ursachen sind:

Dass die Ekliptik nicht mit dem Himmelsäquator parallel liegt. sich auch die Sonne in der Ekliptik mit stets gleicher Geschwin- fortbewegte, so würde doch einem und demselben Wegstücke zur r Aequinoctien, wo die Sonnenbahn einen bedeutenden Winkel a Aequator bildet, eine geringere Aenderung in der Rectascension

entsprechen, als zur Zeit der Solstitien, wo die Sonne fast parallel dem Aequator fortschreitet (siehe die Sternkarte Tab. IV.).

2) Dass die Sonne sich auch in der Ekliptik nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, sondern zur Zeit unseres Winters schneller fortschreitet als während unseres Sommers. Um sich davon zu überzeugen, messe man z. B. auf der Sternkarte Tab. IV. den Weg, den die Sonne vom 2. bis zum 26. Juni zurücklegt, und man wird finden, dass er wirklich kleiner ist als das Bahnstück vom 1. bis 25. Januar.

Dasselbe ersieht man auch aus der Tabelle auf Seite 81. Vom 1. bis 12. Juli wächst die Länge der Sonne nur um $7^{\circ} 37,7'$, während vom 1. bis 9. Januar um $8^{\circ} 9,1'$ zunimmt. Am schnellsten wächst die Länge der Sonne am 1. Januar, wo der in 24 Stunden beschriebene Bogen der Ekliptik $1^{\circ} 1' 10,1''$ beträgt, während zur Zeit des langsamsten Fortschreitens, am 1. Juni, der in 24 Stunden von der Sonne beschriebene Bogen nur $57' 11,8''$ beträgt.

Eine Folge davon, dass die Sonne in ihrer Bahn mit ungleicher Geschwindigkeit fortschreitet, ist auch die, dass sie eine längere Zeit braucht, um die nördliche Hälfte der Ekliptik zu durchlaufen, als die südliche. Sie braucht, um vom Herbstpunkte aus zum Frühlingspunkte zurückzukehren. Vom 21. März bis zum 22. September sind 186 Tage, von September bis zum 21. März sind ihrer nur 179, die Sonne verweilt auf der nördlichen Halbkugel des Himmels volle 7 Tage länger als auf der südlichen.

Was die Ursache dieser Ungleichheiten ist, werden wir später untersuchen. Hier haben wir es zunächst nur mit der ungleichen Dauer des Sonnentages zu thun.

Es ist klar, dass sich im bürgerlichen Leben alle Zeiteintheilungen nach der Sonne richten müssen, weil die Abwechselung von Tag und Nacht maassgebend ist für die Eintheilung aller Beschäftigungen des bürgerlichen Lebens, wie ja auch im Thier- und Pflanzenleben die Abwechslung von Tag und Nacht eine bedeutende Rolle spielt.

So lange man noch mit mechanischen Uhren von geringer Genauigkeit zu thun hatte, war kein Anstand, da sie doch öfters gerichtet werden mussten, diese Uhren alle paar Tage nach der Sonne zu stellen, man sie einmal etwas schneller, dann wieder langsamer einstellen lassen, ob man sie etwas mehr oder weniger verstellte, das war nicht gültig. Astronomische Uhren aber, wie überhaupt gute Uhren, bedürfen ein möglichst gleichförmiger Gang die erste Bedingung ist, kann unmöglich nach wahrer Sonnenzeit gerichtet werden.

Um aber doch den Sonnentag der Hauptsache nach als Zeitmaass beizubehalten, und dennoch ein gleichförmiges Zeitmaass zu haben, so man statt des wahren veränderlichen, einen mittleren Sonnentag von gleichbleibender Länge eingeführt. Denkt man sich die Dauer eines gewöhnlichen Jahres von 365 Tagen in 365 vollkommen gleiche Theile getheilt, so ist ein solcher Theil der mittlere Sonnentag.

ne schärfere Definition des mittleren Sonnentages ist folgende. man sich eine Sonne, welche mit vollkommen gleichförmiger Ge-
ligkeit den Himmelsäquator in derselben Zeit durchläuft, welche
are Sonne braucht, um die Ekliptik zu durchlaufen, so ist die Zeit
ner Culmination dieser eingebildeten Sonne bis zur nächsten der
e Sonnentag.

ie wahren Sonnentage sind nun bald etwas länger, bald etwas kür-
der mittlere, der wahre Mittag ist also bald etwas vor dem mitt-
voraus, bald bleibt er etwas gegen denselben zurück. Der Zeit-
chied zwischen dem mittleren und wahren Mittag wird die Zeit-
ung genannt.

er numerische Werth der Zeitgleichung für die einzelnen Tage
bres hängt davon ab, für welchen Moment man annimmt, dass die
e Sonne gleiche Rectascension mit der wahren habe. Man hat für
Moment die Zeit angenommen, in welcher die Rectascension der
i Sonne am schnellsten wächst (24. December), und so ergeben
nn von 8 zu 8 Tagen folgende Werthe der Zeitgleichung:

atstag.	M. Z. — W. Z.		Monatstag.	M. Z. — W. Z.	
anuar.	+	3' 43''	4. Juli.	+	3' 57''
"	+	7 17	12. "	+	5 12
"	+	10 18	20. "	+	6 0
"	+	12 34	28. "	+	6 12
ebruar.	+	13 59	5. August.	+	5 46
"	+	14 31	13. "	+	4 42
"	+	14 14	21. "	+	3 4
"	+	13 13	29. "	+	1 12
lärz.	+	11 34	6. September.	—	1 37
"	+	9 30	14. "	—	4 21
"	+	7 9	22. "	—	7 10
"	+	4 41	30. "	—	9 53
pril.	+	2 17	8. October.	—	12 18
"	+	0 7	16. "	—	14 16
"	—	1 40	24. "	—	15 39
lai.	—	2 59	1. November.	—	16 16
"	—	3 44	9. "	—	16 3
"	—	3 52	17. "	—	14 56
"	—	3 24	25. "	—	12 56
unf.	—	2 26	3. December.	—	10 8
"	—	1 1	11. "	—	6 41
"	+	0 39	19. "	—	2 49
"	+	2 22	27. "	+	1 9

as Zeichen + zeigt an, dass der mittlere Mittag früher, das Zei-
-, dass er später ist als der wahre.

Die Axe, um welche sich der ganze Globus dreht, befindet sich im Mittelpunkte dieses Stundenringes und trägt einen Zeiger, welcher auf derselben feststeckt, aber sich mit einiger Reibung um denselben drehen lässt.

Um nun den Globus einer gegebenen Zeit entsprechend zu stellen, reht man ihn zunächst so, dass der Ort des Himmels, an welchem die Sonne eben steht, gerade unter den Meridianring M zu stehen kommt, stellt dann den Zeiger auf 12 Uhr Mittags (der mit 12 bezeichnete Theilstrich bei s) und dreht nun den ganzen Globus sammt dem Zeiger so weit, bis letzterer die fragliche Stunde zeigt.

Soll z. B. der Globus so gestellt werden, wie es dem 17. Mai Abends 10 Uhr entspricht, so stellt man den Globus so, dass der auf dem Aequator mit $3^h 35'$ bezeichnete Punkt (Rectascension der Sonne am genannten Tage nach der Tabelle auf S. 78), also der Punkt des Aequators, welcher $53,7^\circ$ östlich vom Frühlingspunkte liegt, gerade im Meridian steht, dass also die Plejaden culminiren, und dreht dann die Kugel sammt Zeiger um 10 Stunden, die man auf dem Stundenringe abliest, nach Westen. Man sieht dann, dass das Sternbild der Jungfrau im Süden culminirt (Spica steht fast im Meridian), und dass die Sternbilder Cassiopeia und Andromeda den Meridian in unterer Culmination passiren; der grosse Löwe steht am südwestlichen, Leyer und Schwan am nordöstlichen Himmel.

Bestimmung des Stundenwinkels eines Sternes für 29 einen gegebenen Augenblick. In vielen Fällen ist es wichtig, aus den Angaben der astronomischen Jahrbücher für jeden gegebenen Zeitpunkt den Stundenwinkel eines Sternes, d. h. den Winkel berechnen zu können, welchen der Declinationskreis des Sternes mit dem Meridian macht.

Es sei nun

- a die Rectascension der Sonne zur Zeit ihrer Culmination an einem gegebenen Tage;
- b die Rectascension eines gegebenen Sternes;
- c die Zeitgleichung für den gegebenen Tag, so ist:
- $a-b$ der Winkel, um welchen der Declinationskreis des Sternes im Moment der Sonnenculmination, und
- $a-b-c$ der Winkel, um welchen derselbe zur Zeit des mittleren Mittags westlich vom Meridian liegt.

Um n Uhr, d. h. n Stunden mittlerer Sonnenzeit, oder $n \frac{366}{365}$ Stunden Sternzeit nach dem mittleren Mittag, ist der Stundenwinkel S des Sternes noch um $n \frac{366}{365}$ Stunden grösser, also

$$S = a - b - c + n \frac{366}{365}.$$

Man fragt z. B., welches ist zu Berlin am 7. März 1855 Abends 8 Uhr der Stundenwinkel von α leonis? Nach dem astronomischen Jahrbuche ist für diesen Fall

$$\begin{aligned} b &= 10^h 0' 39'' & c &= 0^h 11' 20'' \\ a &= 23^h 9' 46'' & n &= 8^h \end{aligned}$$

und danach ergibt sich

$$S = 20^h 59' 6'',$$

d. h. in dem fraglichen Moment steht zu Berlin α leonis $20^h 59'$ westlich, oder, was dasselbe ist, $3^h 0' 54''$ (in Bogentheilen ausgedrückt $45^\circ 13' 30''$) östlich vom Meridian.

Wollte man also zu Berlin am 7. März 1855 das Fernrohr eines Äquatorealinstrumentes so richten, dass Abends 8 Uhr α leonis im Gesichtsfelde erscheint, so hätte man den Äquatoreal- oder Stundenkreis auf $314^\circ 46,5'$ zu stellen, vorausgesetzt, dass der Index dieses Kreises auf Null zeigt, wenn das Fernrohr sich in der Ebene des Meridians findet, und die Theilung vom Meridian nach Westen gezählt wird. Declinationskreis des Instrumentes aber hätte man auf $12^\circ 40' 26''$ zu stellen, weil dies die nördliche Abweichung α leonis ist.

Die Berliner Ephemeriden geben die Rectascension der Sonne zu dem Moment, in welchem dieses Gestirn zu Berlin culminirt. An anderen Orten findet aber die Sonnenculmination später Statt, folglich muss für solche westlicher gelegene Orte die Rectascension der Sonne im Moment des wahren Mittags grösser sein, als ihn die Berliner Ephemeriden angeben. Wollte man also für irgend einen westlich von Berlin gelegenen Ort den Stundenwinkel eines Sternes für einen gegebenen Zeitpunkt berechnen, so dürfte man in den obigen Werth von S nicht den Werth von a setzen, wie ihn die Berliner Ephemeriden angeben, sondern man müsste an diesem Werthe noch eine Correction bringen, welche von der geographischen Länge des Ortes abhängt.

In 24 Stunden nimmt die Rectascension der Sonne im Durchschnitt um $0,986^\circ$, in einer Stunde also um $\frac{0,986^\circ}{24}$ zu. Für jeden Ort, dessen wahrer Mittag eine Stunde später ist als Berlin, wird demnach die Rectascension der Sonne zur Zeit des wahren Mittags $\frac{0,986}{24}$ Grad grösser sein, als es die Berliner Ephemeriden angeben. Für 1 Längengrad beträgt dieser Unterschied der Rectascension 9,86 Bogensekunden oder 0,657 Zeitsecunden.

30 Zeitbestimmung durch Culminationsbeobachtung

Eine Zeitbestimmung machen heisst eigentlich nichts weiter, als den Gang einer Uhr durch astronomische Beobachtungen zu controliren.

Für eine Uhr, welche genau nach mittlerer Sonnenzeit geht, ist

$$UZ - MZ = 0,$$

$(b - a) \frac{365}{366}$ mittlere Sonnenstunden nach dem wahren Mittag wird der Stern culminiren, oder mit anderen Worten, zur Zeit der Sternmination ist $WZ = (b - a) \frac{365}{366}$, also

$$UZ - (b - a) \frac{365}{366} - c = t \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Hat man z. B. am 23. April 1855 beobachtet, dass die Uhr 4^h 40' in dem Augenblicke zeigt, in welchem Sirius culminirt, so hat man

$$UZ = 4^h 40' 10'',$$

$$a = 2 \quad 2 \quad 0 \quad (\text{Tabelle auf S. 78}),$$

$$b = 6 \quad 38 \quad 45 \quad (\text{S. 31}),$$

$$c = - \quad 1 \quad 40 \quad (\text{S. 85}),$$

und er ergibt sich

$$t = 5' 53'';$$

die Uhr geht also 5' 53'' vor.

31 Zeitbestimmung durch correspondirende Höhen.

im vorigen Paragraphen besprochene Methode der Zeitbestimmung nur anwendbar, wenn der Meridian des Beobachtungsortes bestimmt

Durch die Beobachtung correspondirender Höhen vor und nach Culmination kann man aber die Uhrzeit der Culmination eines Gestirns auch ermitteln, ohne dass der Meridian bestimmt ist.

Beobachtet man, dass ein Stern, auf der Ostseite des Himmels steigend, die Höhe h in dem Augenblicke erreicht, in welchem die Uhr die Zeit T zeigt, dass er, auf der Westseite des Himmels niedergehend, dieselbe Höhe h wieder zur Uhrzeit T' passirt, so ist offenbar die Uhrzeit seiner Culmination das Mittel zwischen den beiden beobachteten Zeiten, also $\frac{T + T'}{2}$.

Hätte z. B. ein Stern die Höhe von 32° 17' im Aufsteigen 6^h 18' 42'' Uhrzeit, im Niedergehen aber zur Uhrzeit 10^h 33' 20'' passirt, so wäre die Uhrzeit der Culmination dieses Sternes 8^h 26' 1''.

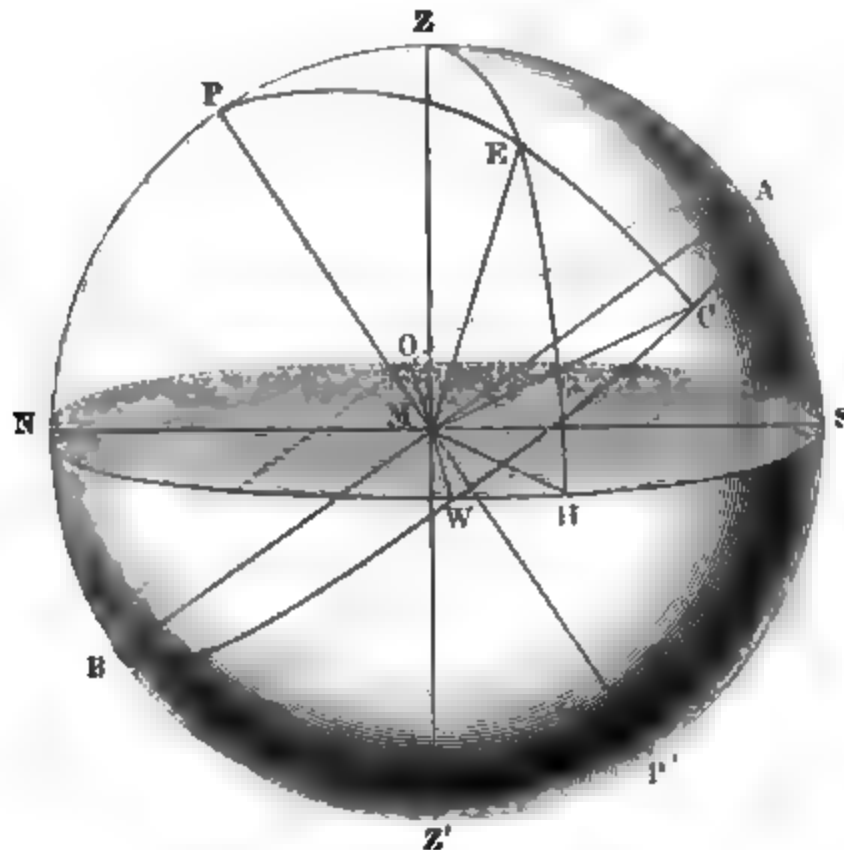
Wenn man diese Beobachtungsmethode anwenden will, um die Uhrzeit einer Sonnenculmination zu ermitteln, so muss man die Veränderung der Declination der Sonne, welche zwischen den beiden Beobachtungen stattfindet, in Rechnung bringen.

32 Zeitbestimmung durch einfache Sonnenhöhen. Da jedes Gestirn in Folge seiner täglichen Bewegung seine Höhe stetig ändert, und da es eine gewisse Höhe immer zu einer bestimmten Zeit passirt, so muss auch eine einzige Höhenmessung hinreichen, um eine Zeitbestimmung zu machen.

Zunächst kommt es darauf an, aus der beobachteten Höhe eines Gestirnes seinen Stundenwinkel S , d. h. den Winkel zu berechnen, v

chen der Declinationskreis PC , Fig. 57, des Gestirnes E mit dem Meridian PZA macht.

Fig. 57.



Ausser der beobachteten Höhe HE muss zur Lösung dieser Aufgabe noch die Declination CE des Gestirnes und die Aequatorhöhe SA des Beobachtungsortes bekannt sein.

Der gesuchte Stundenwinkel CA , den wir mit S bezeichnen wollen, ist der Winkel, den die Ebenen PCM und PAM mit einander machen. Dieser Winkel ist aber offenbar auch ein Winkel des sphärischen Dreiecks PZE und zwar derjenige, welchen die Seiten PZ und PE dieses Dreiecks mit einander machen. In diesem Dreieck sind aber alle drei Seiten bekannt; es ist nämlich

$PZ = SA$, gleich der Aequatorhöhe des Beobachtungsortes, die wir mit a bezeichnen wollen;

$PE = p$, die Poldistanz des beobachteten Gestirnes E , sie ist offenbar $= 90^\circ - CE$, gleich 90° weniger der bekannten Declination des Gestirnes;

$ZE = z$, die Zenithdistanz des Gestirnes, welche $90^\circ - HE$, d. h. 90° weniger der beobachteten Höhe ist.

Daraus ergibt sich nun (Sphärische Trigonometrie, S. 12, Gleichung 12):

$$(\sin. \frac{1}{2} S)^2 = \frac{\sin. \frac{1}{2} (z + a - p) \sin. \frac{1}{2} (z + p - a)}{\sin. a \cdot \sin. p} \quad (1)$$

Nehmen wir z. B. an, man habe zu Freiburg ($a = 42^\circ$) am 15. Juni Vormittags die Sonnenhöhe 39° beobachtet, so haben wir

$$z = 90 - 39 = 51^{\circ}$$

$$p = 90 - (23^{\circ} 18' 41'') = 66^{\circ} 41' 19'',$$

da am 15. Juni die Declination der Sonne $23^{\circ} 18' 41''$ ist.

Setzen wir a , z und p ihre eben angegebenen Zahlenwerthe in Gleichung bei (1), so ergibt sich

$$S = 56^{\circ} 56' 23''.$$

Dieser Winkel, in Stunden ausgedrückt, giebt nun die Zeit, welche die Sonne braucht, um in den Meridian zu gelangen, oder wenn eine Nachmittagsbeobachtung gemacht hatte, die Zeit, welche seit Sonnenculmination verstrichen ist. Bezeichnet man mit c die Zeit, welche seit der Beobachtung verstrichen ist, so ist

$$MZ = 12 - S - c$$

die mittlere bürgerliche Zeit des Beobachtungsmomentes, wenn man die Höhenbestimmung des Morgens gemacht hat, und

$$MZ = S + c,$$

wenn es sich um eine Nachmittagsbeobachtung handelt.

Nehmen wir das obige Beispiel wieder auf, so ist $S = 56^{\circ} 56'$ in Zeit ausgedrückt, $3^h 47' 45''$, also

$$MZ = 12^h - (3^h 47' 45'') = 8^h 12' 15'' \text{ Morgens}$$

die Zeit des Beobachtungsmomentes, da für den 15. Juni die Zeitgleichung nur Bruchtheile einer Secunde beträgt, also für Zwecke des bürgerlichen Lebens vernachlässigt werden kann.

Gehen wir zu einem anderen Beispiele über. Am 4. März fand man zu Freiburg die Höhe der Sonne in dem Augenblicke, in welchem die Uhr Nachmittags $1^h 58' 36''$ zeigte, die Höhe des Sonnentelpunktes gleich 30° ; wir haben also

$$z = 90^{\circ} - 30^{\circ} = 60^{\circ},$$

$$p = 90^{\circ} + (6^{\circ} 32' 55'') = 96^{\circ} 32' 55'',$$

da am genannten Tage die Declination der Sonne $-(6^{\circ} 32' 55'')$ beträgt, und

$$a = 42^{\circ}.$$

Aus diesen Daten ergibt sich

$$S = 28^{\circ} 26' = 1^h 52'.$$

Da nun für den fraglichen Tag $c = 12' 2''$, so ist die mittlere bürgerliche Zeit des Beobachtungsmomentes

$$MZ = 2^h 4' 2''.$$

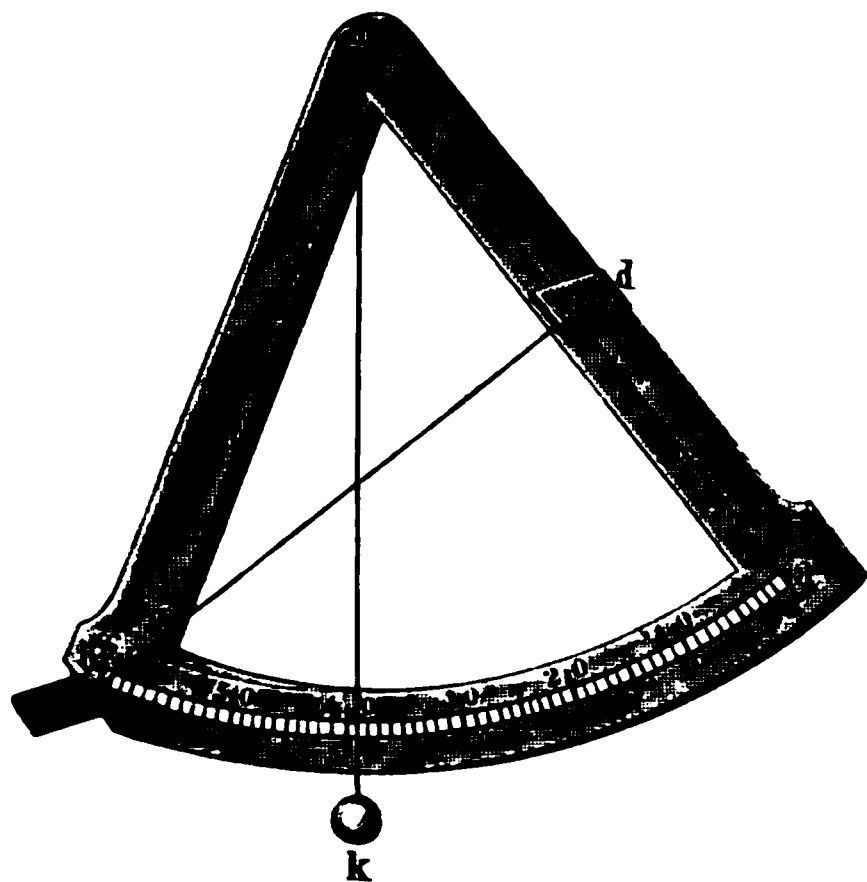
Da aber die Uhr $1^h 58' 36''$ zeigte, so ergibt sich, dass diese um $5' 26''$ nachging.

Um Sonnenhöhen so genau zu messen, als es zur Bestimmung der Zeit für das bürgerliche Leben erforderlich ist, genügen einfachere Instrumente als die, welche wir früher kennen lernten; gewöhnlich wendet man in diesem Falle den Sextanten an.

Fig. 58 zeigt einen Sextanten der einfachsten Art. Er besteht wesentlich aus einem getheilten Sechsteckkreis (daher der Name),

mit zwei Radien ein Dreieck bildet. m ist der Mittelpunkt des gegen Bogens. An dem Schenkel ma , welcher dem Nullpunkt der

Fig. 58.



Theilung entspricht, ist ein Messingblättchen d so befestigt, dass ein von der gegenüberstehenden Spitze b auf ma gefälltes Perpendikel gerade die Mittellinie dieses Blättchens trifft. Parallel mit diesem ist bei b ein zweites Messingblättchen angebracht. In der Mitte des Blättchens b ist eine Linie eingeritzt, während d ein kleines rundes Loch enthält. Von m hängt ein Faden herab, welcher eine Bleikugel k trägt.

Hält man nun das Instrument so, dass seine Ebene in die Verticalebene der Sonne und der von d gerade auf b fällt (was man daran erkennt, dass die Sonnenstrahlen, welche durch die kleine Oeffnung in d fallen, einen hellen Fleck auf der Mittellinie von d bilden), so kann man auf dem gegen Kreise die Höhe der Sonne ablesen. Es ist nämlich bd die Richtung der Sonnenstrahlen. Der Winkel aber, welchen bd mit der Horizontalen macht, ist gleich dem Winkel amk , da am auf bd und mk auf Horizontalen rechtwinklig steht; der Bogen von a bis zum Bleiloth also die Sonnenhöhe.

Da es schwierig ist, den Sextanten in freier Hand sicher genug zu halten, so wird er in der Regel mit einem passenden Stativ versehen, welches eine feste Aufstellung erlaubt.

Solche Sextanten von 6 bis 8 Zoll Radius sind in der Regel von Holz mit aufgeklebter Papierscala.

Eine sehr zweckmässige Einrichtung hat neuerdings Eble dem Instrument gegeben. Bei einem Halbmesser von 13 Zoll ist der Bogen mittelbar in $\frac{1}{2}$ Grade eingetheilt.

Die gemessenen Sonnenhöhen bedürfen noch, bevor man sie in die Rechnung einführen kann, einer Correction wegen der atmosphärischen Lichtbrechung, welche wir erst im zweiten Buche werden kennen lernen.

Die Theilung des Eble'schen Sextanten ist so eingerichtet, dass unmittelbar die corrigirte Höhe ablesen kann.

Aus den beobachteten Sonnenhöhen den Stundenwinkel zu berechnen ist immerhin eine etwas langwierige und für Manchen auch schwierige Arbeit. Deshalb hat bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts

Fr. Chr. Müller Tafeln berechnet, in welchen man für Orte von 50 bis 54. Breitgrade für die von Grad zu Grad fortschreitenden Höhen die entsprechende Zeit aufschlagen kann.

Müller's Sonnentafeln, welche zuerst zu Leipzig im Jahre 1794 erschienen, leiden an mehrfachen Uebelständen, vermöge deren die ihnen entnommene Zeit bis auf 10 Minuten unrichtig sein kann. sinnreich hat Eble die Aufgabe, aus den beobachteten Sonnenhöhen die Zeit abzuleiten, auf graphischem Wege mittelst eines sogenannten nomischen Netzes gelöst, welches sehr empfohlen zu werden verdient (Neues Zeitbestimmungswerk von Eble, Ellwangen 1853). Man kann nach dieser Methode mittelst des Eble'schen Sextanten und Netzes die Zeit bis auf $\frac{1}{2}$ Minute genau finden.

Es versteht sich von selbst, dass man auch einfache Sternhöhen zur Zeitbestimmung anwenden kann.

- 33 Die Sonnenuhr.** Die einfachste Methode der Zeitbestimmung ist wohl die mittelst der Sonnenuhr, welche im Wesentlichen aus einem mit der Weltaxe parallelen Stabe und aus einer Fläche besteht, welche bei Sonnenschein den Schatten jenes Stabes auffängt. Die Sonne bildet die Axe, um welche sich die Schattenebene mit derselben Geschwindigkeit umdreht, mit welcher die Sonne am Himmel fortschreitet, d. h. sie dreht sich in jeder Stunde um 15 Grad. Zu gleichen Tageszeiten d. h. gleich viel Stunden vor oder gleich viel Stunden nach der Mittagssonne, wird also die Schattenebene stets dieselbe Lage haben, und aus der Lage der Schattenebene, also auch aus der Lage des Schattens auf einer gegen den Stab unveränderlich festen Ebene, kann man auf die Zeit schliessen.

Fig. 59.

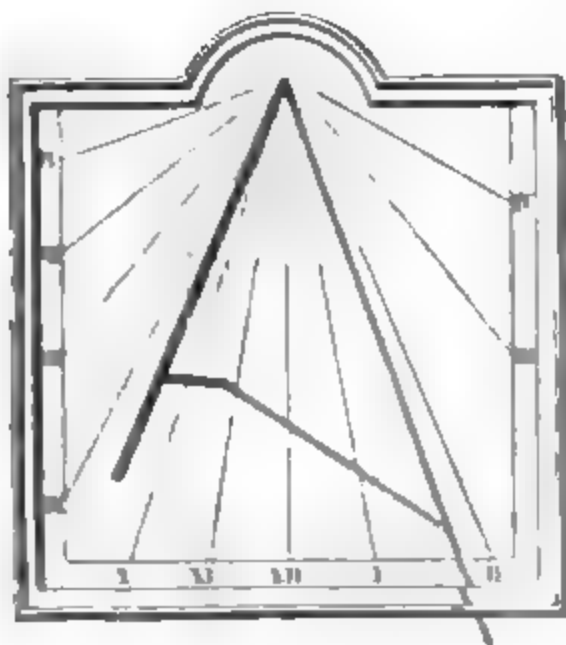
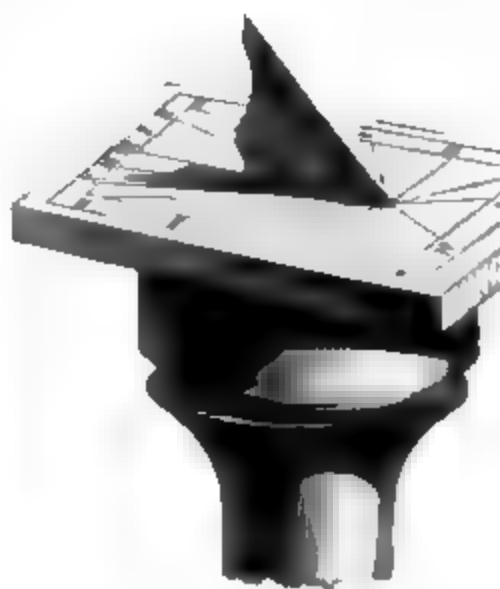


Fig. 60.



Die Ebene, welche den Schatten auffängt, ist gewöhnlich eine vertikale Wand oder eine horizontale Platte, auf welcher die Linien

nd, auf welche der Stabschatten 1, 2, 3 u. s. w. Stunden vor, und 1, 3 u. s. w. Stunden nach dem wahren Mittag fallen muss.

Fig. 59 stellt eine Sonnenuhr mit verticaler schattenauffangender Wand (mit verticalem Zifferblatte) dar.

Bei kleinen Sonnenuhren ist häufig der schattengegebende Stab durch eine verticale Metallplatte ersetzt, deren oberer gradliniger Rand die Richtung der Weltaxe hat. Fig. 60 stellt eine derartige kleine Sonnenuhr mit horizontalem Zifferblatte dar.

Eine Sonnenuhr giebt natürlich nur wahre Sonnenzeit; um nach der mittleren Zeit zu bestimmen, muss man die Zeitgleichung nach der Tabelle auf Seite 85 in Rechnung bringen.

Eine grosse Genauigkeit ist von einer derartigen Sonnenuhr beifolgender Weise nicht zu erwarten.

Bestimmung des Frühlingspunktes. Da die Rectascension 34 der Gestirne auf dem Aequator vom Frühlingspunkte an gezählt wird (S. 30), so ist es von der grössten Wichtigkeit, dass nicht allein die Lage dieses Punktes, sondern auch der Moment genau bestimmt werde, in welchem der Mittelpunkt der Sonne denselben passirt.

Um den Zeitpunkt zu erhalten, in welchem die Sonne durch den Frühlingspunkt geht, bedarf es nichts weiter, als dass man an den Mittagen vor und nach diesem Durchgang die Höhe der Sonne im Meridian mit möglichster Genauigkeit misst.

Man hat z. B. zu Wien, für welchen Ort die Aequatorhöhe $41^{\circ} 47' 24''$ beträgt, im Jahre 1830 die Höhe des Sonnenmittelpunktes zur Zeit des wahren Mittags gefunden:

am 20. März $41^{\circ} 32' 13''$

am 21. März $41^{\circ} 55' 54''$.

Daraus folgt, dass der Durchgang der Sonne durch den Aequator in der Zeit zwischen dem Mittage des 20. und des 21. März erfolgt ist.

In dieser Zwischenzeit von 24 Stunden hat die Höhe der Sonne um $23' 41''$

genommen. Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Höhe der Sonne noch um $15' 11''$ geringer als die Aequatorhöhe von Wien, oder mit anderen Worten, die südliche Declination der Sonne betrug $15' 11''$.

Da man nun weiss, dass am genannten Tage die Declination der Sonne in 24 Stunden um $23' 41''$ zunimmt, und man ohne merklichen Fehler in der Zwischenzeit die Zunahme der Declination als gleichförmig annehmen kann, so hat man zur Berechnung des Zeitpunktes, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Aequator erreicht, die Proportion

$$23' 41'' : 24^h = 15' 11'' : x^h,$$

Daraus folgt $x = 15,386$ Stunden oder $15^h 23' 10''$, d. h. der Durchgang des Sonnenmittelpunktes durch den Frühlingspunkt fand also im Jahre 1830 $15^h 23' 10''$ nach dem wahren Mittag des 20. März Statt.

Um aber auch genau den Ort des Frühlingspunktes zu bestim-

men, hat man an den genannten Tagen auch noch die Zeit der Culmination der Sonne und irgend eines Fixsternes zu beobachten. Man hat z. B. 1830 zu Wien beobachtet

	Culmination	
	der Sonne	α arietis
am 20. März	0^h	$1^h 59' 59''$
am 21. März	0	$1^h 56' 21''$

so ist klar, dass die Rectascension der Sonne vom wahren Mittag des 20. März bis zum wahren Mittag des 21. März, also in 24 Stunden, um $3' 38''$ gewachsen ist. Um zu finden, wie viel sie in $15^h 23' 10''$ zunimmt, haben wir also die Gleichung

$$24^h : 0^h 3' 38'' = 15^h 23' 10'' : x,$$

woraus $x = 0^h 2' 19''$.

Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Rectascensionsdifferenz zwischen Sonne und α arietis $1^h 59' 59''$. Zur Zeit, in welcher die Sonne den Frühlingspunkt erreichte, war diese Differenz um $2' 19''$ kleiner, sie war also

$$1^h 57' 40''.$$

Dies ist nun die Rectascension von α arietis im Jahre 1830, wodurch dann die Lage des Frühlingspunktes für diese Zeit, d. h. der Winkel genau bestimmt ist, welchen der Aequinoctialcolur mit dem Declinationskreise des Sternes α arietis macht.

Man bezeichnet mit dem Namen des tropischen Jahres die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt. Die Dauer des tropischen Jahres beträgt

$$365,24224 \text{ Tage}$$

oder

$$365 \text{ Tage } 5^h 48' 51'',$$

was etwas weniger als $365\frac{1}{4}$ Tag ist.

35 Der Kalender. Das bürgerliche Jahr muss natürlich stets aus einer ganzen Anzahl von Tagen bestehen. Dadurch entsteht aber ein Unterschied zwischen dem bürgerlichen und dem tropischen Jahre, welcher jedoch durch besondere Bestimmungen der Kalenderrechnung, die wir sogleich näher betrachten wollen, wieder ausgeglichen werden kann.

Das Jahr der alten Aegyptier betrug stets 365 Tage, sie nahmen also das Jahr stets $\frac{1}{4}$ Tag zu kurz an, und dieser Fehler musste sich im Laufe der Zeit so anhäufen, dass derselbe Kalendertag allmählig durch alle Jahreszeiten hindurchlief. Fiel z. B. zu einer bestimmten Zeit der 21. März mit dem Frühlingsäquinoccium zusammen, so musste nach ungefähr 365 Jahren der 21. März in die Zeit des Wintersolstitiums fallen.

Um diesem Uebelstande abzuhelpen, verordnete Julius Cäsar im Jahre 45 v. Chr. eine Reform des Kalenders, welche darin bestand, dass das gemeine Jahr zu 365 Tagen gerechnet, dass aber alle 4 Jahre ein

Tag eingeschaltet werden sollte, so dass das 4te Jahr stets 366 Tage hatte. Diese Jahre von 366 Tagen werden Schaltjahre genannt. Während der Februar eines gemeinen Jahres nur 28 Tage hat, so hat derselbe Monat in einem Schaltjahre 29 Tage.

Die Jahresdauer, wie sie Julius Cäsar angenommen hatte, nämlich $365\frac{1}{4}$ Tag, war noch nicht genau, sie war noch um 0,00776 Tage zu gross und darans ergibt sich ein Fehler von 0,776 Tagen in 100 Jahren, also nahe 3 Tagen in 400 Jahren. Der julianische Kalender hat also in 400 Jahren ungefähr 3 Tage zu viel.

Durch das Concilium von Nicäa wurde die Bestimmung getroffen, dass das Osterfest stets am ersten Sonntag gefeiert werden sollte, welcher dem ersten Vollmond nach dem Frühlingsäquinocmium folgt. — Zur Zeit dieses Conciliums, im Jahre 325, fiel die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche auf den 21. März. — Man fuhr nun fort, nach dem julianischen Kalender zu zählen bis 1582, zu welcher Zeit dann die Zeit des Frühlingsäquinocmiums schon merklich verrückt war; es fand nämlich nicht mehr am 21. März Statt, wie im Jahre 325, sondern es fiel auf den 11. März.

Vom Jahre 325 bis 1582 waren 1257 Jahre verflossen. Da der Fehler des julianischen Kalenders 0,00776 Tage im Jahre beträgt, so war er also im Laufe dieser 1257 Jahre auf 9,7, also fast auf 10 Tage gewachsen. Man hatte in der Zwischenzeit 10 Schalttage zu viel eingeschaltet und war dadurch um 10 Tage im Kalender zurückgekommen. Deshalb verordnete Gregor XIII., dass auf den 4. October 1582 gleich der 15. October folgen sollte, um so den seit dem Concilium von Nicäa angewachsenen Fehler auszugleichen.

Damit aber dieser Fehler für die Zukunft vermieden werde, wurde verordnet, dass auf je 400 Jahre 3 Schalttage ausfallen sollten, was durch die Bestimmung erreicht wird, dass das erste Jahr eines jeden Jahrhunderts, welches nach dem julianischen Kalender ein Schaltjahr ist, nur 365 Tage haben sollte, wenn die Jahreszahl nicht durch 400 theilbar ist. So bleiben also die Jahre 1600 und 2000 Schaltjahre, die Jahre 1700, 1800, 1900 aber, sowie 2100, 2200, 2300 sind es nicht.

Der gregorianische Kalender wurde alsbald unter allen Völkern eingeführt, welche der römischen Kirche angehören; und bald wurde er auch von den Protestanten angenommen. Die Griechen und Russen haben noch bis auf den heutigen Tag den julianischen Kalender beibehalten, so dass ihre Zeitrechnung gegenwärtig um 12 Tage gegen die unsere zurück ist. Der 1. Januar des russischen Kalenders ist der 13. Januar des unserigen. Der 20. Mai alten Stils ist der 1. Juni neuen Stils.

Rückgang der Aequinoctialpunkte. Wir haben bisher den Frühlingspunkt als einen festen Punkt des Himmels betrachtet, was er in der That nicht ist. Verfolgt man den Lauf der Sonne längere

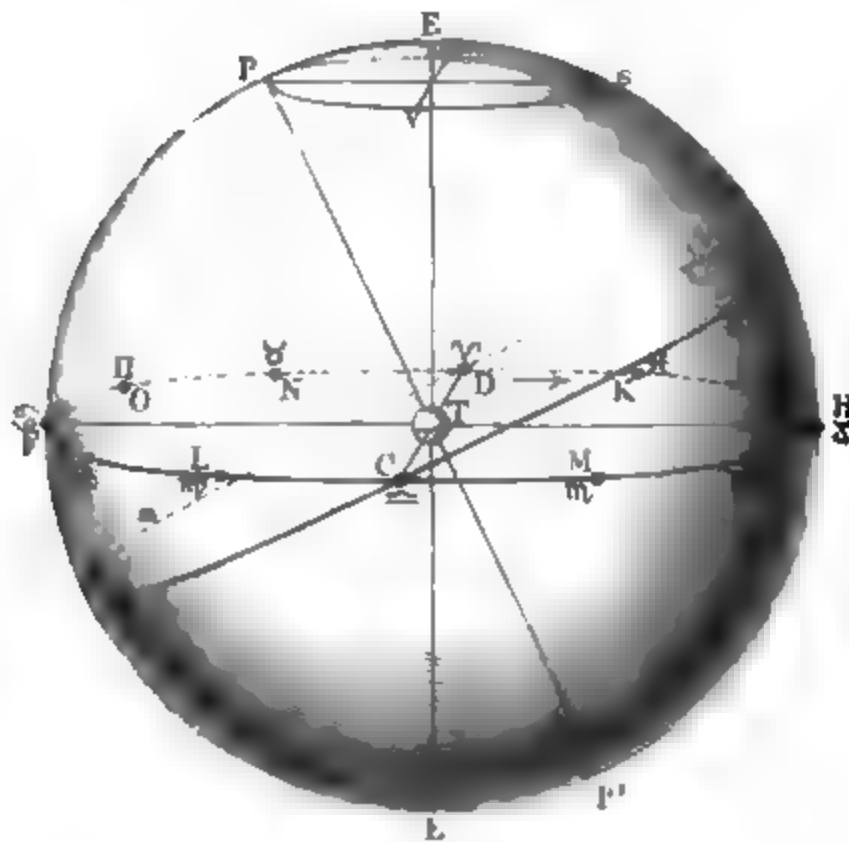
Zeit, so ergibt sich zwar, dass der Weg, welchen sie unter den Ge-
nen beschreibt, im Wesentlichen ungeändert bleibt, dass aber die *Poi*
in welchen die Ekliptik von dem Himmelsäquator durchschnitten, *langsam*
von Osten nach Westen fortrücken, also der Bewegung
Sonne entgegen.

Im Laufe eines Jahrhunderts beträgt dieser Rückgang der Tag-
Nachtgleichen $1^{\circ} 23' 30''$, in einem Jahre also $50''$.

Da also der Frühlingspunkt stets von Osten nach Westen fortset-
tet, so ist klar, dass die Länge der Gestirne fortwährend wächst. *Par-*
parch fand z. B. im Jahre 130 v. Chr. die Länge von α virginis (S
gleich 174° , während sie gegenwärtig $201,5^{\circ}$ ist. Dabei bleibt die B
der Gestirne nahezu unverändert, weil die Ebene der Ekliptik ihre
nicht ändert.

Fig. 61 stellt die gegenseitige Lage der Ekliptik und des Him-
äquators dar. Beide Ebenen schneiden sich in der Linie *CD*; *C* ist

Fig. 61.



Herbstpunkt. *D* ist der Frühlingspunkt. Nach dem oben Gesagten
diese Linie allmählich ihre Lage ändern: der Frühlingspunkt rückt vo-
gegen *K*, der Herbstpunkt von *C* gegen *L* fort: es ist also klar,
der Frühlingspunkt im Laufe von Jahrtausenden von einem Stern
zum anderen wandern wird. Wenn der mit *O* bezeichnete Frühlingsp-
sich gegenwärtig in *D* befindet, so wird er in 2333 Jahren um 30°
Westen gewandert sein, *O* wird alsdann an derselben Stelle des
mols stehen, welche jetzt mit *O* bezeichnet ist, also in *K*.

Es ist bereits oben S. 79 und 82 bemerkt worden, dass gegenwärtig der Frühlingspunkt ungefähr am westlichen Ende des Sternbildes der Fische liegt, vor 2300 Jahren lag also der Frühlingspunkt noch am östlichen Ende des Sternbildes des Widders, also an dem Punkt N , z. 61, den wir jetzt mit 08 bezeichnen. Damals fiel also das Zeichen des Widders mit dem Sternbild des Widders zusammen, die Sonne passte den Frühlingspunkt mit dem Eintritt in das Sternbild des Widders. In dieser Zeit rührt wahrscheinlich die Eintheilung der Ekliptik in 12 Zeichen des Thierkreises. Allmähig ging nun die Uebereinstimmung zwischen den Zeichen und den gleichnamigen Sternbildern verloren, weil der Frühlingspunkt auf das folgende Sternbild vorrückte, während man ihn doch stets als den Nullpunkt des ersten Zeichens im Thierkreis (08) beibehielt.

Da die Ebene der Sonnenbahn (gewisse Schwankungen abgerechnet, von denen alsbald die Rede sein wird) ungeändert bleibt, so lässt sich der Rückgang der Aequinoctialpunkte nur durch die Annahme erklären, dass die Ebene des Himmelsäquators allmähig ihre Stellung ändert. Die Lage des Himmelsäquators ist aber durch die Richtung der Erdaxe bedingt, auf welcher derselbe rechtwinklig steht. In Fig. 61 seien E und E' die Pole der Ekliptik, PP' die Weltaxe, also die verlängerte Erdaxe. Wenn sich nun die Ebene des Himmelsäquators so drehen soll, dass ihre Durchschnittslinie mit der Ebene der Ekliptik sich in der Lage CD gegen LK hin dreht, so muss auch die Weltaxe eine Drehung erleiden, und zwar wird die Weltaxe PP' bei ihrer Umdrehung um die Axe EE' eine Kegelfläche beschreiben.

Daraus folgt nun auch weiter, dass die Himmelspole keine absolut unveränderlichen Punkte sind. Der Nordpol des Himmels wandert nach und nach durch die ganze Peripherie des Kreises $PrSV$; um aber diesen Kreis vollständig zu durchlaufen, ist eine Zeit von ungefähr 26 000 Jahren nöthig.

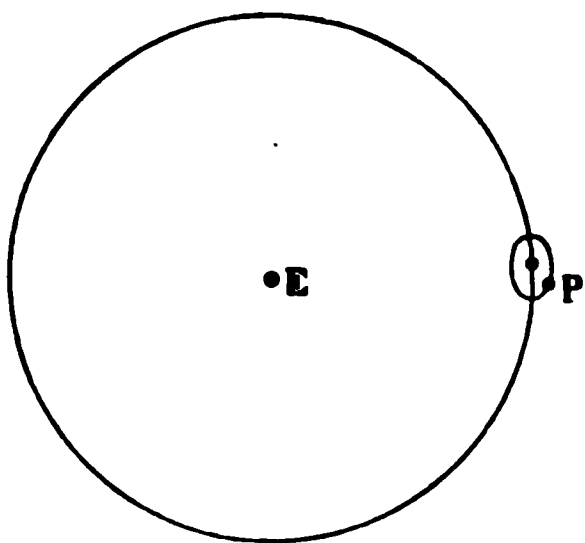
In der Sternkarte Tab. III. ist der Kreis gezogen, welchen der Nordpol des Himmels um den Pol der Ekliptik beschreibt. Der Stern α des kleinen Bären, welcher jetzt ungefähr $1\frac{1}{2}$ Grad von dem Nordpol des Himmels absteht, war zur Zeit Hipparch's noch fast 12 Grad von demselben entfernt, konnte damals also noch nicht als Polarstern bezeichnet werden. Der Nordpol des Himmels nähert sich diesem Sterne noch bis zum Jahre 1995, wo er nur noch 26 Minuten von ihm absteht. Darauf entfernt sich der Nordpol des Himmels wieder von α ursae minoris, um in das Sternbild des Cepheus überzugehen. Nach 12 000 Jahren wird γ lyrae dem Nordpol nahe stehen.

Der in diesem Paragraphen besprochene Rückgang der Nachtgleichen wird auch mit dem Namen der Präcession bezeichnet.

Nutation. Der Rückgang der Aequinoctialpunkte ist nicht ganz gleichförmig, sondern er zeigt Schwankungen, deren Periode ungefähr

18 $\frac{1}{2}$ Jahre beträgt. Ebenso ist auch der Winkel, welchen die E mit der Axe der Ekliptik macht, nicht ganz constant, sondern er det kleine Variationen, welche an dieselbe Periode gebunden sind, sich die Erdaxe der Axe der Ekliptik abwechselnd etwas nähert sich dann wieder von ihr entfernt. Dieses Wanken der Erdaxe be net man mit dem Namen der Nutation.

Fig. 62.



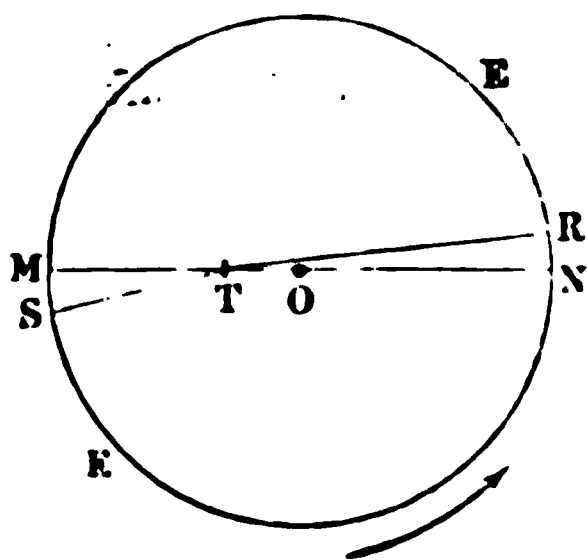
Der Nordpol des Himmels besch also nicht, wie es in dem vorigen graphen angenommen wurde, einen Kreis um den Pol der Ekliptik, sondern eine wellenförmige Curve. solche Bewegung erklärt sich, wenn annimmt, der Pol P , Fig. 62, besch auf einer kleinen Ellipse, deren telpunkt sich mit gleichförmige schwindigkeit um den Pol E der tik bewegt. Die grosse Axe dieser Ellipse beträgt 9,6'', die klein

38 Erklärung der scheinbaren Bewegung der Sonne

einfachsten scheint sich auf den ersten Anblick die scheinbare Bewegung der Sonne dadurch erklären zu lassen, dass man annimmt, die Sonne schreibe wirklich um die feststehende Erde im Laufe eines Jahres einen Kreis, dessen Ebene einen Winkel von $23^{\circ} 28'$ mit der Ebene des Himmelsäquators macht. In der That war dies auch die im Alterthum herrschende Ansicht. Um aber zu erklären, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Sonne in der Ekliptik fortschreitet, bald langsamer, bald schneller ist, und da man doch die Hypothese nicht aufgeben wollte, dass die Sonne ihre kreisförmige Bahn mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchläufe, nahm Hipparch an, dass sich die Erde nicht im Mittelpunkte der Sonnenbahn befinde.

Wenn die Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Kreis Fig. 63, durchläuft, die Erde sich aber in T ausserhalb des Mittelpunktes befindet, so wird die Bewegung der Sonne, von der Erde aus gesehen, nicht mehr gleichförmig erscheinen.

Fig. 63.



nen; denn wenn auch die gleichen NR und MS von der Sonne in gleichen Zeiten durchlaufen werden, so sind die Winkel, unter welchen diese von T aus gesehen, erscheinen, nicht gleich, sondern sie verhalten sich umgekehrt wie die Entfernungen NT und MT . Die scheinbare Geschwindigkeit der Sonne ist kleiner, wenn sie sich bei N , als wenn sie sich bei M befindet.

Denken wir uns durch den Mittelpunkt O des Kreises EE und die T eine gerade Linie gezogen, welche den Kreis in den Punkten M und N schneidet, so befindet sich die Sonne bei M in der kleinsten, bei N in der grössten Entfernung von der Erde, der Punkt M wird deshalb Perigäum (Erdnähe), N aber das Apogäum (Erdferne) genannt. Die Sonne passirt das Perigäum zu Ende December, das Apogäum zu Ende Juni.

Die gerade Linie $MTON$, welche die Erde mit dem Mittelpunkte der Sonnenbahn verbindet, wird die Absidenlinie genannt.

Unter der Voraussetzung, dass sich die Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegt, kann nun das Verhältniss der Excentricität OT zum Halbmesser OM leicht aus der Vergleichung des grössten und kleinsten Winkels abgeleitet werden, um welchen die Länge der Sonne in 24 Stunden zunimmt. Diese Winkel sind aber $1^{\circ} 1' 10,1''$ und $3670,1''$ und $57' 11,5''$ oder $3431,5''$ (S. 81); wir haben also

$$TM : TN = 3431,5 : 3670,1,$$

aus sich die Excentricität OT ungefähr gleich $\frac{1}{30}$ vom Halbmesser der Sonnenbahn ergeben würde.

Die Hypothese von der gleichförmigen Geschwindigkeit der Sonne muss aber nothwendig aufgegeben werden, nachdem man einmal dahin gekommen war, den scheinbaren Durchmesser dieses Gestirns zu verschiedenen Zeiten des Jahres mit Genauigkeit zu messen. Wäre Ptolemäus's Hypothese richtig, so müssten sich die scheinbaren Durchmesser der Sonne zu Ende Juni und zu Ende December gleichfalls verhalten wie 3431 : 3670, während in der That die Sonnendurchmesser diesen Zeiten $31' 31,0''$ und $32' 35,6''$ sind, sich also verhalten wie 1 zu 1,956. Daraus geht hervor, dass die Entfernungen TM und TN sich verhalten müssen wie 1891,0 zu 1956, woraus folgt, dass die Excentricität der Sonnenbahn in der That nur $\frac{1}{60}$ ist.

Betrachten wir nun die Methoden, welche man angewandt hat, um den scheinbaren Durchmesser der Sonne mit Genauigkeit zu bestimmen. Am leichtesten lässt sich diese Bestimmung mit Hülfe eines jeden im Meridian aufgestellten und mit einem Fadenkreuz versehenen Fernrohrs ausführen; man hat nur die Zeit zu beobachten, welche vergeht zwischen dem Moment, in welchem der westliche Sonnenrand an den verticalen Faden des Fadenkreuzes herantritt, und demjenigen Moment, in welchem der östliche Sonnenrand diesen Faden verlässt. Bezeichnen wir mit t die zwischen diesen fraglichen Momenten vergangene, in Minuten ausgedrückte Zeit, so ist

$$S = \frac{t \cos. d}{4}$$

wo S den in Graden ausgedrückten scheinbaren Durchmesser der Sonne und d die Declination der Sonne am Beobachtungstage bezeichnet.

Mit der grössten Genauigkeit lässt sich aber der Durchmesser der Sonne und anderer Himmelskörper sowohl, wie auch die Distanz nahe

stehender Fixsterne mit dem Heliometer bestimmen, dessen tzung folgende ist.

Das Heliometer ist im Wesentlichen ein astronomisches Fernrol Objectiv durch einen diametralen Schnitt in zwei gleiche Hälften getheilt ist. Die eine Hälfte *A*, Fig. 64, des Objectivs ist in einer Weise mit dem Rohre verbunden, während die

Fig. 64.



Hälfte *B*, Fig. 64 und Fig. 65, in der Richtung der Schnittfläche verschoben werden kann. Die Bewegung dieser zweiten Objectivhälfte wird durch eine Schraube vermittelt, deren Kopf mit einer feinen Theilung versehen ist, um noch Bruchtheile Umdrehung der Schraube mit Genauigkeit ablesen zu können.

Fig. 65.

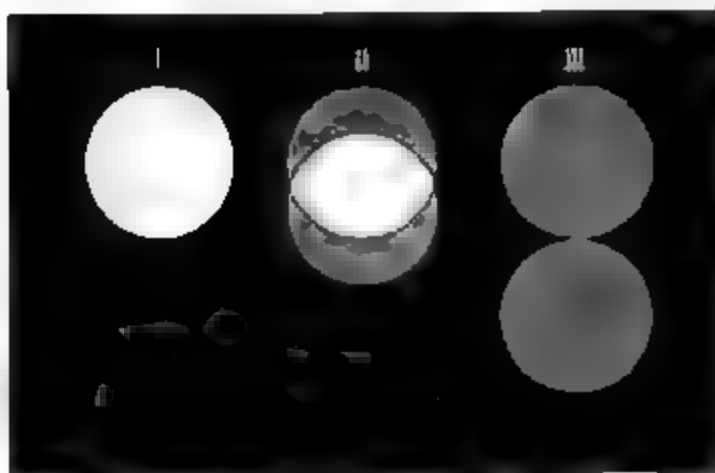


Jede Hälfte des Objectivs entwirft nun für sich ein durch das Ocular zu betrachtendes Bild des Gegenstandes, auf welchen das Rohr gerichtet ist. Wenn die beiden Hälften des Objectivs so neben einander gestellt sind, dass ihre Mittelpunkte coincidiren, so fallen auch die Bilder der beiden Hälften zusammen, man sieht nur ein Bild, gleich als ob man nur mit einem ganzen ungetheilten Objectiv hätte.

Sobald man aber die Objectivhälfte *B* aus dieser Lage nur wenig gegen die andere verschiebt, treten die beiden Bilder auseinander, man sieht zwei Bilder des Gegenstandes, auf welchen das Fernrohr gerichtet ist, welche um so mehr auseinander treten, je weiter die linke Objectivhälfte *B* aus ihrer centralen Stellung verschoben wird.

Ist das Instrument auf die Sonne gerichtet (zu deren Beobachtung man natürlich Blendgläser anwenden muss), so sieht man ein Sonnenbild, Nr. I. Fig. 66, wenn die Objectivhälfte *B* genau in der centralen Stellung hat. Sobald man die Objectivhälfte *B* aus dieser Stellung um etwas verschiebt, treten die beiden Sonnenbilder auseinander, Fig. 66, und zwar

Fig. 66.



sich die Mittelpunkte der beiden Sonnenbilder mehr von einander entfernen, je weiter die linke Objectivhälfte *B* verschoben wird. Wenn aber endlich die Verschiebung von *B* fortgesetzt worden ist, dass der Mittelpunkt des zweiten Sonnenbildes von dem Mittelpunkt des ersten Sonnenbildes

des festen verschoben ist, so berühren sich die beiden Sonnenbilder, Nr. III. Fig. 66.

Um nun mit einer solchen Vorrichtung die scheinbare Grösse der Sonnenscheibe messen zu können, muss man ermitteln, wie gross die Winkelverschiebung des verschiebbaren Bildes ist, welche einer ganzen Umdrehung der Schraube entspricht, durch welche die zweite Objectivhälfte *B* verschoben wird. Um eine solche Graduierung der Schraube auszuführen, wird auf geschwärzter Pappscheibe ein weisser Kreis von genau zu messendem Durchmesser aufgetragen und alsdann diese Scheibe in einer grossen, gleichfalls genau zu messenden Entfernung vom Instrument aufgestellt. Da man nun den wahren Durchmesser sowohl wie die Entfernung des gemalten weissen Kreises kennt, so kann man den scheinbaren Durchmesser, d. h. den Winkel berechnen, unter welchem der weisse Kreis dem unbewaffneten Auge eines am Instrument aufgestellten Beobachters erscheint. Wir wollen den berechneten, in Minuten ausgedrückten scheinbaren Durchmesser des gemalten weissen Kreises mit *w* bezeichnen.

Nun wird das Heliometer auf die Scheibe mit dem weissen Kreis gerichtet und die Anzahl *t* der Umdrehungen bestimmt, um welche die verschiebbare Hälfte des Objectivs führende Schraube gedreht werden muss, um die beiden Bilder des weissen Kreises aus der vollkommenen Coincidenz (Nr. I. Fig. 66) heraus, bis zu gegenseitiger Berührung (Nr. III. Fig. 66) zu bringen. Es ergibt sich daraus, dass jeder Umdrehung der Schraube ein scheinbarer Durchmesser von

$$d = \frac{w}{t} \text{ Minuten}$$

entspricht. Wenn man also mit dem Heliometer die Sonne beobachtend *n* Umdrehungen der Schraube machen müsste, um die beiden Sonnenbilder aus der vollkommenen Coincidenz bis zur gegenseitigen Berührung zu bringen, so ist der scheinbare Sonnendurchmesser

$$D = n \frac{w}{t} \text{ Minuten.}$$

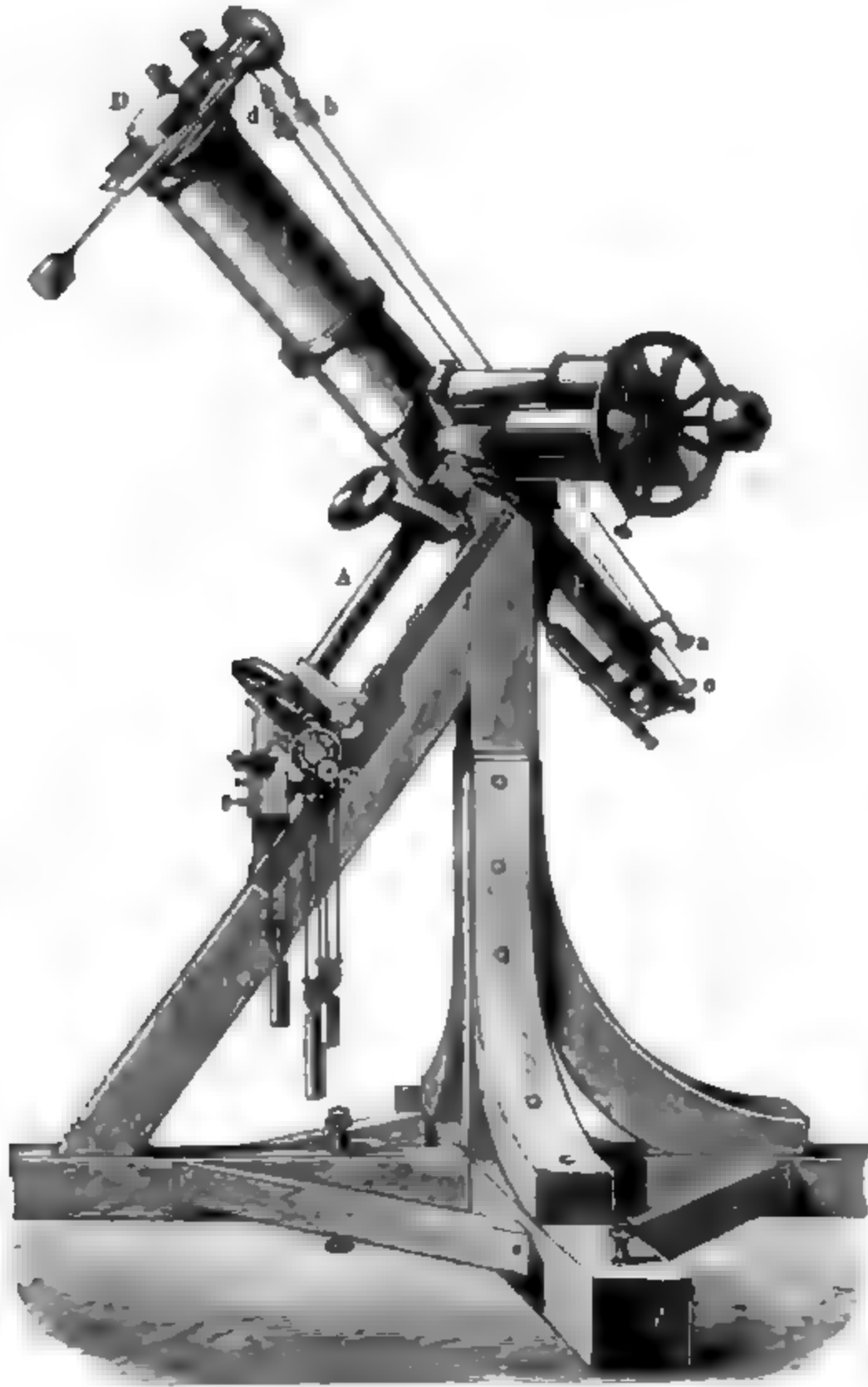
Es ist klar, dass das Heliometer in gleicher Weise auch benutzt werden kann, um den Durchmesser anderer Himmelskörper, des Mondes, der Planeten u. s. w., sowie den Abstand nahe stehender Fixsterne zu messen.

Mit Hülfe des Heliometers kann man sich auch überzeugen, dass die Sonne wirklich vollkommen kugelförmig, dass sie nicht abgeplattet ist wie die Erde. Hat man nämlich die verschiebbare Objectivfläche *B* so festgestellt, dass das eine Sonnenbild das andere eben berührt, so wird, wenn man nun die beiden Objectivhälften gemeinschaftlich um die Axe des Fernrohrs dreht, das eine Bild, welches von der festen Objectivhälfte erzeugt wird, fest stehen bleiben, während das zweite von der nun excentrisch gestellten Objectivhälfte erzeugte Bild sich um das feste herum bewegt. Führt man diesen Versuch aus, so findet man, dass die beiden Bilder vollkommen in Berührung bleiben, was nicht der Fall sein

würde, wenn die Sonnenkugel nur eine der Erde proportionale Abplattung hätte.

Das Heliometer ist eine Erfindung Bouguer's (1748), welches jedoch statt der beiden Objectivhälften zwei ganze Objective von glei-

Fig. 67.



cher Brennweite anwandte, von denen das eine fest, das andere veränderbar war. Dollond ersetzte die beiden Objective durch die beiden Häl-

ten eines und desselben Objectivs, wodurch das Instrument bedeutend vereinfacht und verbessert wurde.

Es versteht sich von selbst, dass das Heliometer, um vollkommen seinem Zweck zu entsprechen, parallaktisch aufgestellt sein und durch ein Uhrwerk um die Weltaxe des Instrumentes gedreht werden muss. Fig. 67 stellt das Heliometer dar, welches Fraunhofer für die Königsberger Sternwarte construiert und mit welchem Bessel viele wichtige Untersuchungen ausgeführt hat. A ist die der Weltaxe parallel zu stehende Hauptdrehungsaxe des Instrumentes. D ist das aus zwei getrennten Hälften bestehende Objectiv. Längs des Rohres F sind zwei Schlüssel ab und od angebracht, vermittelt deren der Beobachter ohne dasocular zu verlassen, nach Belieben die beiden Objectivhälften zusammen in die Axe des Rohres drehen, oder die Schraube in Bewegung setzen kann, welche die bewegliche Hälfte des Objectivs verschiebt.

Jährliche Bewegung der Erde um die Sonne. Aus Grün- 39
den, welche erst in dem Capitel von der Planetenbewegung ihre volle Würdigung finden können, hat man die Annahme, dass die Erde fest steht und die Sonne um sie herumlaufe, verlassen und lässt statt dessen die Erde um die ruhende Sonne kreisen.

Wir wollen nun zunächst untersuchen, wie sich aus dieser Hypothese die scheinbare Bewegung der Sonne in der Ekliptik erklären lässt.

Der äussere Kreis Tab. V. stellt die Bahn dar, welche die Sonne scheinbar während eines Jahres durchläuft, und zwar ist diese Bahn in die 12 Zeichen des Thierkreises eingetheilt. Den Mittelpunkt der Figur bildet die Sonne, und um dieselbe ist dann der Kreis gezogen, welchen die Erde im Laufe eines Jahres wirklich durchläuft.

Der Durchmesser der Erdbahn sollte freilich verschwindend klein sein gegen den Durchmesser des Thierkreises. Obgleich nun dies Verhältniss auch nicht entfernt annähernd eingehalten ist, so kann man doch aus dieser Figur ersehen, an welcher Stelle der Ekliptik die Sonne erscheinen muss, wenn die Erde verschiedene Orte ihrer Bahn einnimmt.

Befindet sich die Erde in A , so trifft eine von A aus nach der Sonne gezogene und über dieselbe hinaus verlängerte Linie die Ekliptik im Punkte 0^\vee , A ist also der Ort, an welchem sich die Erde zur Zeit des Frühlingsäquinociums befindet. Während nun die Erde in der Richtung des Pfeils von A bis B fortschreitet, scheint, von ihr aus gesehen, die Sonne die Zeichen Widder, Stier und Zwillinge zu durchlaufen, und wenn die Erde in B angekommen ist, so steht die Sonne offenbar gerade vor 0^\ominus , d. h. sie tritt gerade in das Zeichen des Krebses ein.

Während die Erde den zweiten, dritten und vierten Quadranten, also die Wege von B bis C , von C bis D , von D bis A durchläuft, bewegt sich die Sonne scheinbar der Reihe nach vor den Sternzeichen Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann

und Fische her, die Sonne scheint also die Ekliptik in der angegebenen Richtung zu durchlaufen.

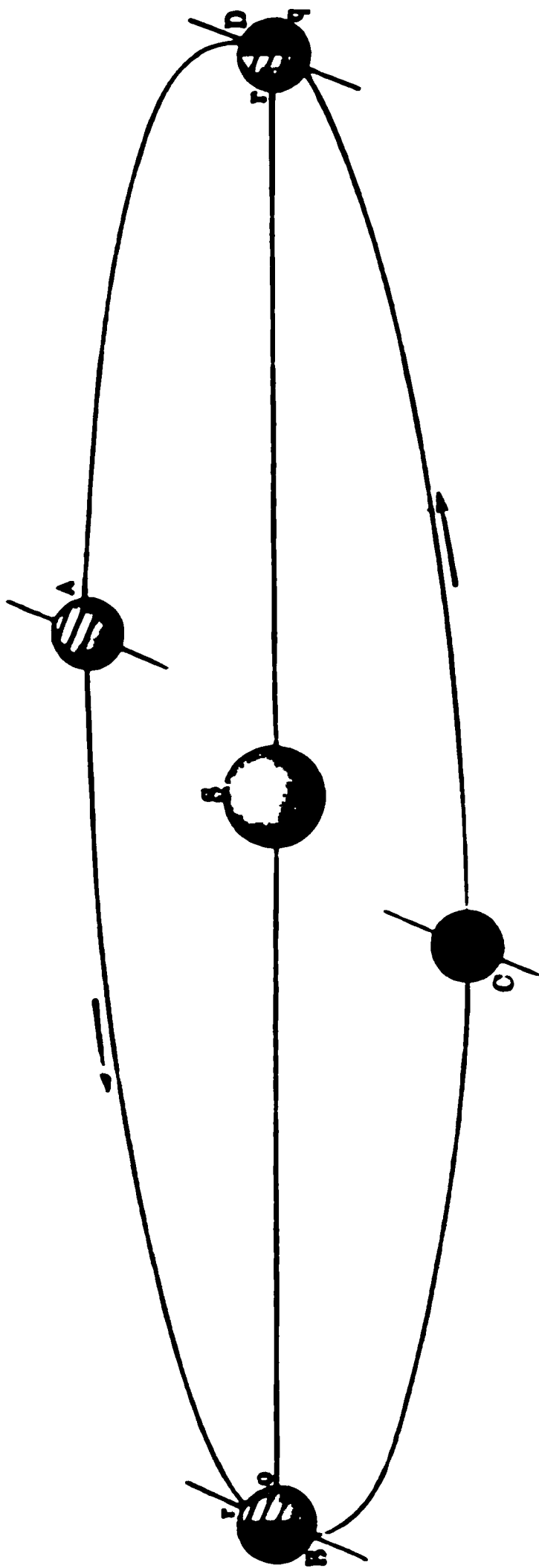
Während die Erde in der angegebenen Weise um die Sonne läuft, dreht sie sich aber auch noch in je 24 Stunden um ihre Axe. Die Erdaxe aber steht nicht rechtwinklig auf der Ebene der Ekliptik, sondern sie macht einen Winkel von $66^{\circ} 32'$ mit derselben, so dass also der Aequator, mithin auch der Meridian, einen Winkel von $23^{\circ} 28'$ mit der Ebene der Ekliptik machen.

Da nun die Lage der Erdaxe, sowie die Lage des Meridians das ganze hindurch unverändert bleibt, so müssen wir annehmen, dass die Erdaxe trotz der fortwährenden Bewegung der Erde stets dieselbe Richtung im Raume beibehält, dass also die Erdaxe immer parallel zu sich selbst fortrückt. Es ist zwar auch in Tab. V. zu sehen, deutlicher aber sieht man es in Fig. 68, welche die Ekliptik perspectivisch darstellt.

Betrachten wir das Verhältniss der Erde zu den Sonnenstrahlen etwas näher. Nehmen wir, dass zur Zeit des Wintersolstitiums, also wenn die Erde bei *D*, Fig. 68, steht, die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf einen Punkt *r* fallen, welcher $28'$ südlich vom Aequator liegt.

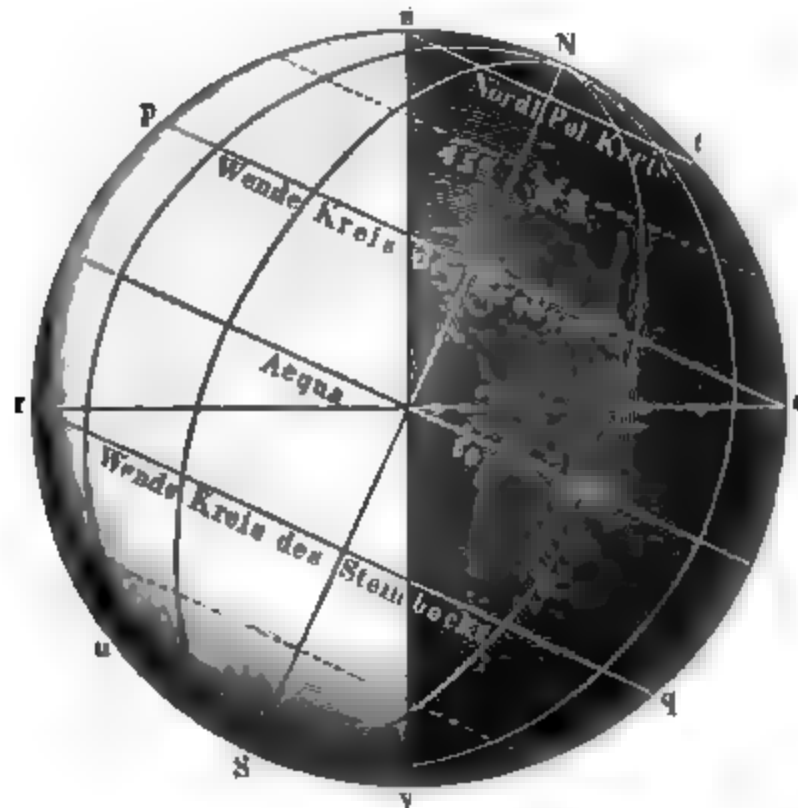
In Fig. 68 ist die Erde zu klein, um die hier in Betracht kommenden Verhältnisse deutlich übersehen zu können, deshalb ist sie in Fig. 69 in gleicher Stellung, wie in Fig. 68, in vergrössertem Maasse dargestellt, und Fig. 70 (a. S. 108) zeigt die auf der Ekliptik projecirte Erde zur Zeit des Wintersolstitiums.

Fig. 68.



Der Parallelkreis rq , welcher $23^{\circ} 28'$ südlich vom Aequator liegt, die südlichste Grenze, für welche die Sonne im Zenith erscheinen

Fig. 69.



an. Weil nun die Sonne, wenn die Erde bei D steht, in das Zeichen des Steinbocks eintritt, so heisst dieser Parallelkreis rq der Wendekreis des Steinbocks.

Wenn die Sonne in das Zeichen des Steinbocks tritt, wenn sich die Erde also bei D , Tab. V. und Fig. 68, befindet, so tangiren die Sonnenstrahlen die nördliche Erdhälfte in s , Fig. 69, die südliche in v . Der durch s gelegte Parallelkreis st heisst der nördliche, der durch v gelegte Parallelkreis uv heisst der südliche Polarkreis.

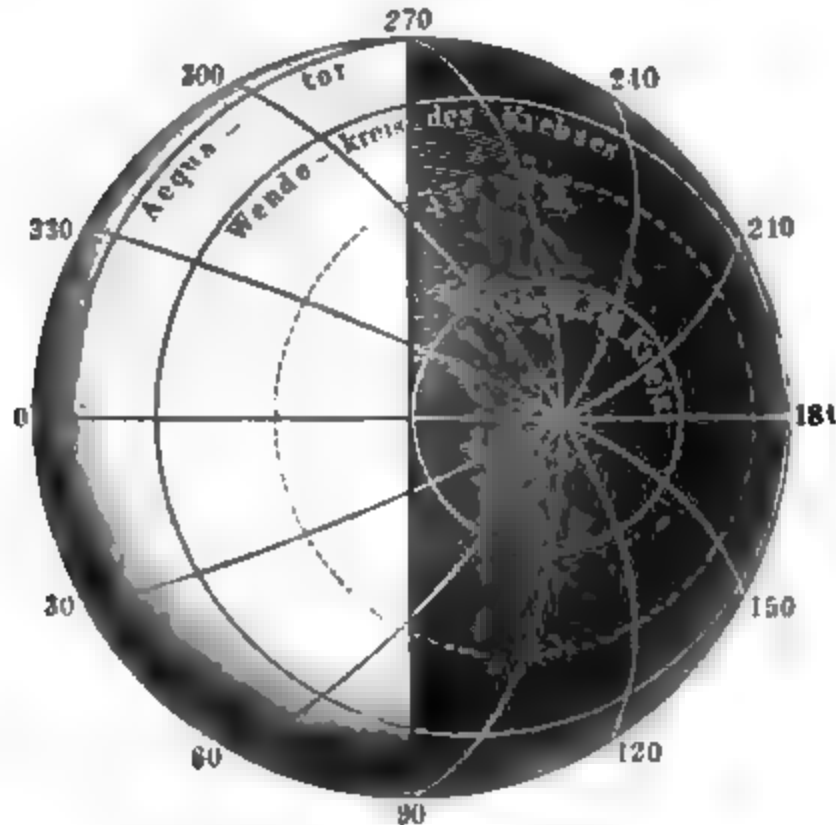
Der südliche Polarkreis uv bildet die Gränze derjenigen Orte, für welche zur Zeit des Wintersolstitiums in Folge der Axendrehung der Erde noch ein Auf- und Untergang der Sonne innerhalb 24 Stunden stattfindet. Für alle Orte des südlichen Polarkreises ist der längste Tag 24 Stunden und für alle Orte, welche innerhalb des südlichen Polarkreises liegen, geht zur Zeit des Wintersolstitiums die Sonne nicht mehr unter (siehe oben §. 16).

Von dem ganzen Flächenraum, welcher innerhalb des nördlichen Polarkreises st liegt, bleiben zur Zeit des Wintersolstitiums die Sonnenstrahlen gänzlich abgehalten. Es ist dies die Zeit der längsten Nacht in der nördlichen Hemisphäre, und diese dauert auf dem nördlichen Polarkreis 24 Stunden.

Von D , Tab. V. und Fig. 68, aus gelangt die Erde während des nächsten Vierteljahres nach A , und nun tritt die Sonne in das Zeichen

des Widders. Es ist dies die Zeit des Frühlings-Aequinoctiums. Die Sonnenstrahlen treffen jetzt rechtwinklig auf einen Punkt des Aequators

Fig. 70.



und tangiren die beiden Pole. Der grösste Kreis der Erdkugel, welcher die beleuchtete von der dunklen Erdhälfte scheidet, geht jetzt durch die beiden Pole, er halbirt also alle Parallelkreise, und daher kommt es denn, dass um diese Zeit Tag und Nacht auf der ganzen Erde gleich sind.

Wenn die Erde in *B* angekommen ist, wenn sie also ins Zeichen des Krebses eintritt, so fallen die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf denjenigen Punkt *o* des $23^{\circ} 28'$ nördlich vom Aequator liegenden Kreises *op*, für welchen die Sonne gerade culminirt. Der Kreis *op* enthält also die nördlichsten Punkte der Erde, für welche die Sonne noch ins Zenith kommen kann. Er wird der Wendekreis des Krebses genannt.

Zur Zeit des Sommersolstitiums geht während der täglichen Umdrehung die Sonne innerhalb des nördlichen Polarkreises nicht mehr unter, innerhalb des südlichen nicht mehr auf. Der nördliche Polarkreis hat jetzt seinen längsten Tag von 24 Stunden und ebenso lang ist zu dieser Zeit die Nacht des südlichen Polarkreises.

Zur Zeit des Herbstäquinociums, wenn die Erde in *C* angelangt ist, sind die Insolationsverhältnisse dieselben wie zur Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche.

- 40** **Eintheilung der Erde in fünf Zonen.** Durch die beiden Wendekreise und die beiden Polarkreise wird die Erde in fünf Zonen getheilt.

Die heisse Zone ist der Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt und dessen Mitte der Erdäquator bildet.

Die nördliche gemässigte Zone ist der Raum zwischen dem Wendekreis des Krebses po , Fig. 71, und dem nördlichen Polarkreis st . Diesem entspricht die südliche gemässigte Zone zwischen dem südlichen Wendekreis rq (dem Wendekreis des Steinbocks) und dem südlichen Polarkreis uv .

Fig. 71.



Die nördliche und südliche kalte Zone endlich sind die durch den nördlichen und südlichen Polarkreis eingeschlossenen Flächenräume. Der Nordpol bildet den Mittelpunkt der nördlichen, der Südpol bildet den Mittelpunkt der südlichen kalten Zone.

Am 22. Juni erreicht die Sonne für die auf dem nördlichen Wendekreise gelegenen Orte zur Mittagszeit das Zenith, während am 22. Decem-

ber für dieselben Orte zur Mittagszeit die Sonne $46^{\circ} 56'$ von dem Zenith absteht. Auf den Wendekreisen variirt also die Höhe der Sonne zur Mittagszeit von $43^{\circ} 4'$ bis 90° .

An allen zwischen den beiden Wendekreisen gelegenen Orten geht die Sonne zweimal im Jahre durch das Zenith. Die Zeitpunkte aber, zu welchen dies stattfindet, rücken um so weiter aus einander, je weiter man sich von den Wendekreisen aus dem Aequator nähert. Auf dem Aequator selbst liegen diese Zeitpunkte um $1\frac{1}{2}$ Jahr aus einander, indem hier die Sonne das Zenith zur Zeit des Frühlings- und des Herbstäquinocciums passirt.

Für den Aequator ist die grösste Höhe, welche die Sonne des Mittags erreicht, 90° , die geringste $66^{\circ} 32'$.

Der niedrigste Sonnenstand für den Aequator ist also immer noch etwa um 3° grösser als der höchste Stand, welchen die Sonne im mittleren Deutschland am 21. Juni erreicht, und für die Wendekreise ist der niedrigste Sonnenstand ungefähr demjenigen gleich, welcher auf dem 50. Breitengrade zu Ende März stattfindet. Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, ist demnach das ganze Jahr hindurch einer sehr kräftigen Wirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt, weshalb er auch den Namen der heissen Zone führt.

Ausserhalb der Wendekreise erreicht die Sonne nie mehr das Zenith, und ihre Strahlen fallen um so schräger auf, je mehr man sich den Polen nähert. Auf den Polarkreisen ist die grösste Mittagshöhe, welche die Sonne erreicht, ungefähr der geringsten Mittagshöhe der Wendekreise gleich. Zur Winterszeit aber sinkt die Höhe der Sonne um Mittag auf den Polarkreisen bis auf 0 herab; es ist also klar, dass die Wärme,

welche durch die Sonnenstrahlen auf der Erdoberfläche hervorgebracht wird, von den Wendekreisen gegen die Polarkreise hin rasch abnehmen muss.

Ueber die Polarkreise hinaus, wo die Sonnenstrahlen längere Zeit gar nicht hintreffen und wo sie, wenn die Sonne auch über dem Horizont steht, doch nur sehr schräg auffallen, muss nothwendig eine sehr niedrige Temperatur herrschen; deshalb heisst auch der vom nördlichen Polarkreis eingeschlossene Flächenraum die nördliche kalte Zone, während der entsprechende den Südpol umgebende Raum die südliche kalte Zone genannt wird.

Da die Wärmeentwicklung auf der Erdoberfläche fast ausschliesslich von den Sonnenstrahlen herrührt, so ist klar, dass das Klima eines Landes vorzugsweise durch die Insolationsverhältnisse bedingt ist; die Wirksamkeit der Sonnenstrahlen wird aber noch durch mancherlei Umstände modificirt, und so kommt es, dass Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch stets gleiches Klima haben; wie dies im dritten Buche ausführlicher wird besprochen werden.

Die Abwechselung unserer Jahreszeiten hängt von dem Wechsel der Insolationsverhältnisse ab. In unserem Kalender wird als Frühling die Zeit bezeichnet, während welcher die Sonne den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum nördlichen Solstitialpunkte durchläuft.

Während unseres Sommers geht die Sonne vom nördlichen Solstitialpunkt bis zum Herbstpunkte. Herbst und Winter sind die Zeiten, während welcher die Sonne vom Herbstpunkte bis zum südlichen Solstitialpunkte und von diesem wieder bis zum Frühlingspunkte fortschreitet.

41 Tagesdauer an verschiedenen Orten und in verschiedenen Jahreszeiten. Nach §. 16 ist es klar, dass die Dauer des Tages, d. h. die Zeit, während welcher die Sonne über dem Horizont bleibt, von der Stellung abhängt, welche dieses Gestirn gerade am Himmel einnimmt, dass sie sich also mit der Jahreszeit ändert.

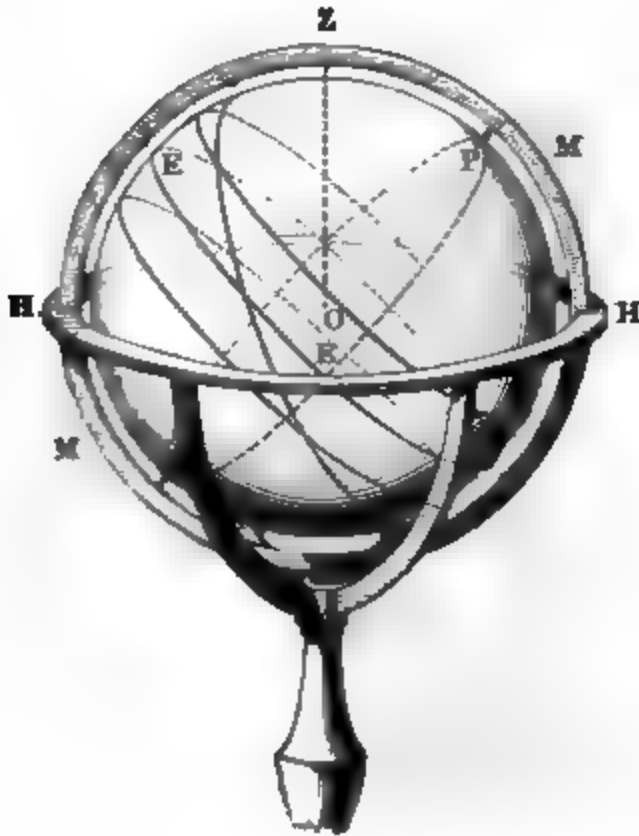
Wenn die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so ist für alle Orte der Erde ihr Tagbogen dem Nachtbogen gleich, Tag und Nacht sind überall gleich lang, daher denn auch die Punkte, in welchen die Sonnenbahn den Himmelsäquator schneidet, Aequinoctialpunkte genannt werden.

Je mehr die nördliche Declination der Sonne zunimmt, desto mehr wächst für die nördliche Erdhälfte ihr Tagbogen, bis er endlich zur Zeit des Sommersolstitiums ein Maximum wird. Befindet sich dagegen die Sonne auf der südlichen Hemisphäre des Himmels, so ist auf der Nordhälfte der Erde der Tagbogen kleiner, der Nachtbogen grösser, und am längsten wird die Nacht zur Zeit des Wintersolstitiums.

Wie lang für einen bestimmten Ort der Erde die Dauer des Tages zu einer gegebenen Zeit des Jahres sei, kann man mit Hülfe eines Himmelsglobus leicht ermitteln. Man braucht nur die Axe *PQ* des Globus,

Fig. 72, so gegen die Ebene des Horizontes HH zu neigen, wie es der Polhöhe des Ortes entspricht, und alsdann diejenige Stelle der Ekliptik

Fig. 72.



zu bezeichnen, an welcher sich gerade die Sonne befindet. Man kann nun leicht mittelst des Stundenkreises sehen, wie viel Stunden der Tagbogen der Sonne beträgt. Soll z. B. ermittelt werden, wie gross der Tagbogen der Sonne am 1. Mai für das mittlere Deutschland sei, so hat man zunächst den Globus so zu stellen, dass die Axe PQ einen Winkel von 50 Grad mit dem Horizont macht. Am 1. Mai ist die Länge der Sonne $40\frac{1}{2}$ Grad, man hat also auf der Ekliptik $40\frac{1}{2}$ Grad vom Frühlingspunkte an nach Osten zu zählen, um den Punkt zu finden, an welchem sich gerade die Sonne befindet. Der Globus

wird nun in diejenige Stellung gebracht, welche dem Aufgang des bezeichneten Punktes entspricht, und die Stellung des Zeigers auf dem Stundenkreise gemerkt; alsdann wird die Kugel von Ost nach West bis zum Untergang des bezeichneten Punktes gedreht und die Grösse der Drehung auf dem Stundenkreise abgelesen. Man findet auf diese Weise den Tagbogen der Sonne am 1. Mai im mittleren Deutschland $14\frac{1}{2}$ Stunden.

Nach diesem Verfahren ist es auch leicht, die Dauer des längsten und des kürzesten Tages für einen beliebigen Ort auf der Erde zu finden.

Diese Aufgabe lässt sich auch ohne Globus mit Hilfe einer einfachen geometrischen Construction auflösen.

Fig. 73 (a. f. S.) stelle die Erde zur Zeit des Wintersolstitiums dar, und zwar auf eine Ebene projicirt, welche mit der Erdaxe parallel und rechtwinklig auf der Ebene der Ekliptik steht. Alle Parallelkreise erscheinen hier zur Linie verkürzt. — Die Linie sv , welche die beleuchtete Erdhälfte von der dunkeln scheidet, theilt den Aequator in zwei gleiche Theile, alle übrigen Parallelkreise aber in ungleiche Theile. Derjenige Theil eines Parallelkreises nun, welcher auf der erleuchteten Erdhälfte liegt, verhält sich zum ganzen Kreisumfang wie die Dauer des kürzesten Tages zu 24 Stunden. Um die Dauer des kürzesten Tages für einen gegebenen Parallelkreis zu bestimmen, hat man also nur zu ermitteln, wie gross der erleuchtete Bogen dieses Parallelkreises ist.

Um dies besser zu übersehen, ist die Erde in ihrer dem Wintersol-

stitium entsprechende Lage in Fig. 74 auf die Ebene der Ekliptik gebracht, dargestellt. Man sieht hier, wie in Fig. 73, dass um diese Zeit ganze nördliche Polarkreis in Schatten liegt, dass für diesen ab

Fig. 73.

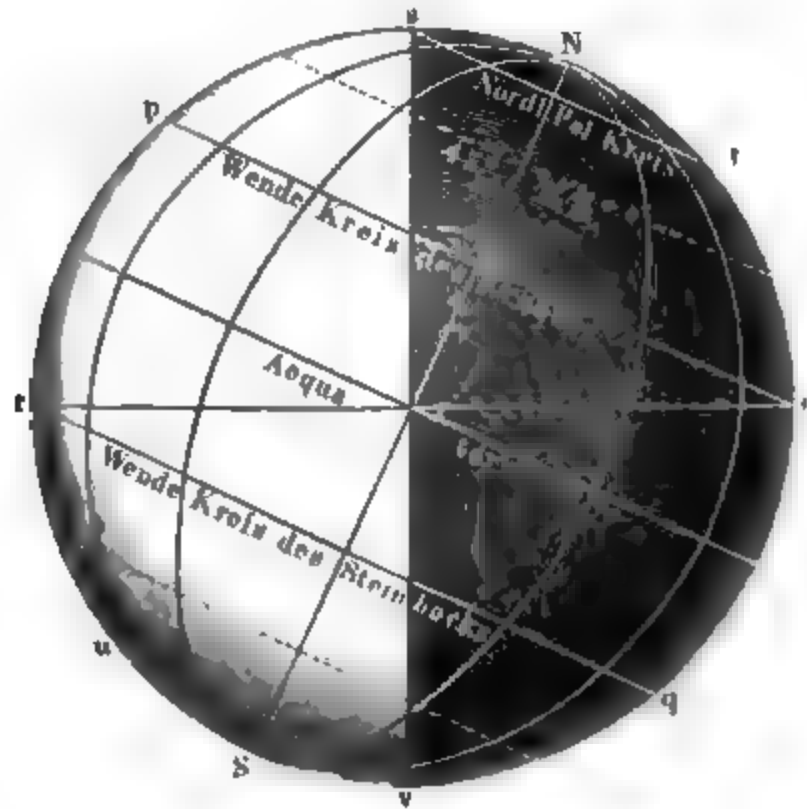
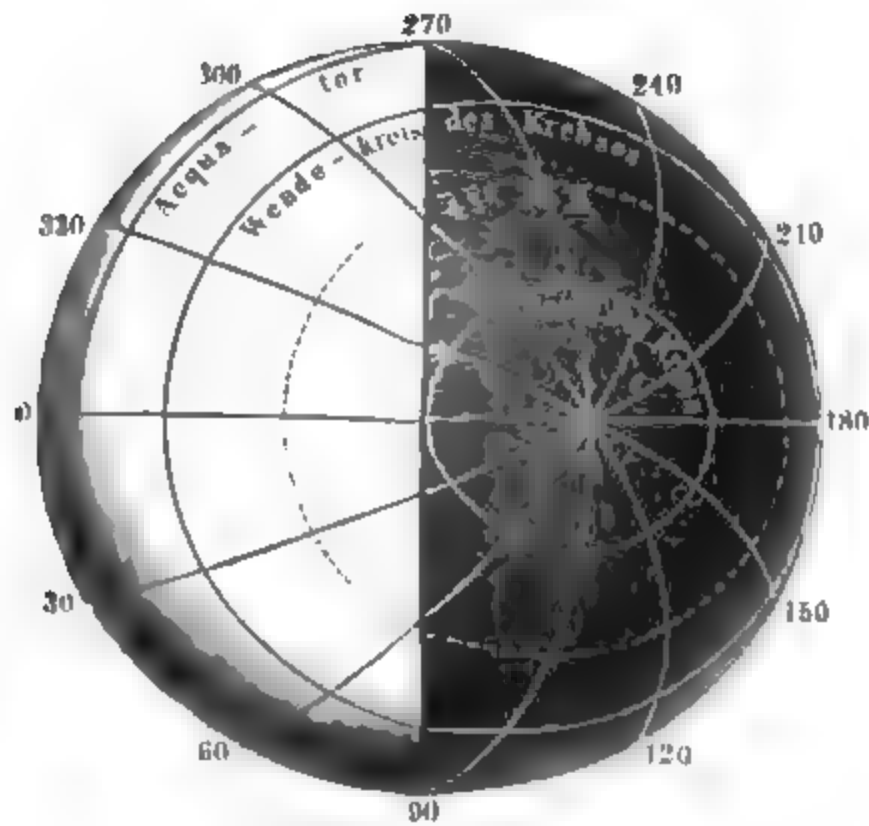


Fig. 74.



der längsten Nacht 24 Stunden beträgt, die Dauer des kürzesten also 0 ist.

on dem Parallelkreis 45 Grad nördlicher Breite sind ungefähr
rade erleuchtet. Da nun 15 Bogengrade einer Stunde entsprechen,
also für den 45. Grad nördlicher Breite die Dauer des kürzesten

$\frac{128}{15} = 8,5$ Stunden.

benso ergibt sich aus der Figur, dass für den nördlichen Wende-
lie Dauer des kürzesten Tages zwischen 10 und 11 Stunden beträgt.
ie folgende Tabelle giebt die Dauer des längsten und des kürze-
ages für verschiedene geographische Breiten an:

Latitude	Dauer des längsten Tages.	Dauer des kürzesten Tages.	Breite	Dauer des längsten Tages.	Dauer des kürzesten Tages.
40°	12 ^h 0'	12 ^h 0'	40°	14 ^h 51'	9 ^h 9'
45	12 17	11 43	45	15 26	8 34
50	12 35	11 25	50	16 9	7 51
55	12 53	11 7	55	17 7	6 53
60	13 13	10 47	60	18 30	5 30
65	13 34	10 26	65	21 9	2 51
66° 32'	13 56	10 4	66° 32'	24 0	0 0
	14 26	9 38			

ür Orte, welche innerhalb der Polarkreise liegen, wechselt die
des Tages von 0 bis 24 Stunden in dem Theil des Jahres, in wel-
lie Sonne noch auf- und untergeht. Die Anzahl der Tage aber,
d welcher die Sonne stets über dem Horizont bleibt, ohne unter-
n, und die Zahl der Tage, während welcher sich die Sonne gar
ber den Horizont erhebt, wechselt mit der Breite. Die folgende
giebt die Anzahl dieser Tage an für verschiedene nördliche
von 66° 32' bis 90°.

Nördliche Breite.	Die Sonne geht nicht unter unge- fähr in	Die Sonne geht nicht auf unge- fähr in
66° 32'	1 Tag	1 Tag
70	65 Tagen	60 Tagen
75	103 "	97 "
80	134 "	127 "
85	161 "	153 "
90	186 "	179 "

Dass für die nördliche kalte Zone die Zahl der Tage, an welcher die Sonne nicht untergeht, grösser ist, als die Zahl der Tage, an welcher sie unter dem Horizont bleibt, rührt daher, dass die Sonne überlänger auf der nördlichen Hemisphäre des Himmels verweilt als auf der südlichen. Für die südliche kalte Zone ist die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht aufgeht, gleich der Zahl der Tage, an welcher gleicher nördlicher Breite kein Untergang stattfindet. In einer südlichen Breite von 75 Grad bleibt die Sonne 103 Tage anhaltend unsichtbar, während sie dann wieder 97 Tage lang nicht untergeht.

Wir haben hier die Tagesdauer betrachtet, wie sie sich aus geometrischen Beobachtungen ergibt, ohne Rücksicht auf den Einfluss der atmosphärischen Strahlenbrechung und der Dämmerung zu nehmen. Wie durch diese Einflüsse die Dauer des Tages verlängert wird, können wir erst im zweiten Buche untersuchen.

42 Wahre Gestalt der Erdbahn. Wir haben gesehen, dass der scheinbare Durchmesser der Sonne im Laufe eines Jahres bald abnimmt. Wenn man nun die scheinbare Bewegung der Sonne in ihren Verhältnissen und Beziehungen durch eine wirkliche Bewegung der Erde erklären will, so darf man die Sonne nicht in den Mittelpunkt der Erdbahn setzen, und zwar folgt aus den in §. 38 entwickelten Sätzen, dass die Excentricität der Erdbahn gleich $\frac{1}{60}$ ihres halben Durchmessers sein muss.

Um aber auch die Veränderungen der scheinbaren Geschwindigkeit der Sonne mit den entsprechenden Variationen ihres Durchmessers und den daraus sich ergebenden Veränderungen ihrer Entfernung von der Erde in Uebereinstimmung zu bringen, muss man die Ansicht aufstellen, als ob die Erde sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihrer Umlaufbahn fortbewege. Nach §. 38 verhalten sich die Entfernungen zwischen Erde und Sonne am 1. Januar und am 1. Juli wie 18910 zu 19556. Quadrate dieser Zahlen verhalten sich wie 1 zu 1,0695, und das ist gerade auch das Verhältniss der in §. 27 bereits mitgetheilten täglichen Winkelgeschwindigkeiten an den genannten Tagen; daraus folgt also, dass die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sich die Erde um die Sonne aus gesehen, fortbewegt, sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung beider Weltkörper.

Bezeichnen wir mit W_1 und W_2 die von der Sonne aus gemessenen Winkelgeschwindigkeiten der Erde für die Entfernungen l und f , demnach

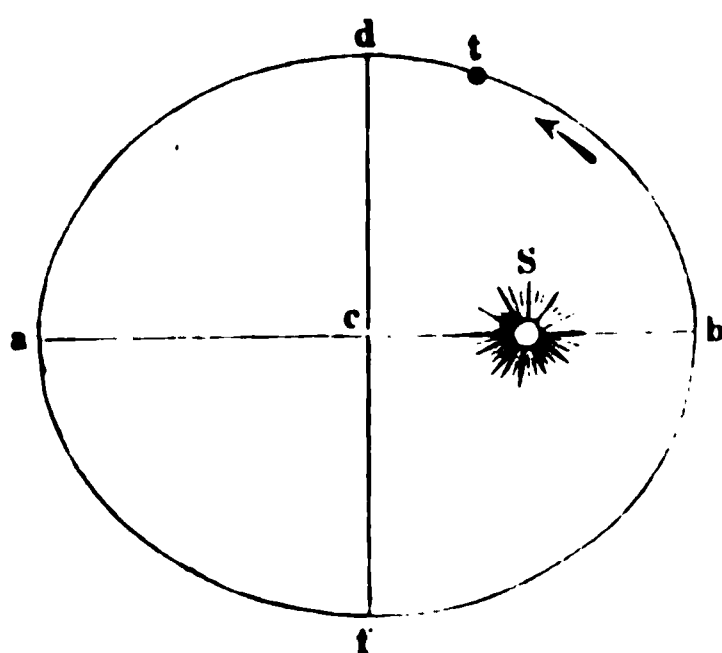
$$W_2 = \frac{W_1}{f^2} \quad \dots \quad (1).$$

Nun ist aber offenbar der Bogen TT' , Fig. 75, welchen die Erde in einer gegebenen Zeit zurücklegt, dem Winkel $TS'T'$ und der Entfernung TS proportional; bezeichnen wir also die den Entfernungen l und f entsprechenden Bogen mit B_1 und B_2 , so haben wir

kleine Axe af der Erdbahn verhält sich zur grossen Axe ab wie 0.99986 zu 1.

Wenn sich die Erde in b , dem einen Endpunkte der grossen Axe, befindet, so ist sie in der Sonnennähe, im Perihelium; ihre grösste Entfernung von der Sonne erreicht sie im anderen Endpunkte a der

Fig. 76.



grossen Axe; hier ist die Erde in der Sonnenferne, im Aphelium.

Am 1. Januar ist die Sonne im Perihelium, am 1. Juli ist sie im Aphelium.

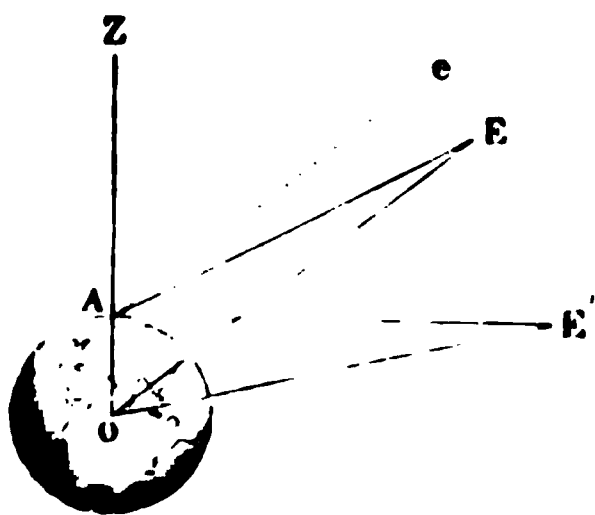
Die Absidenliniemacht einen Winkel von ungefähr 10 Grad mit der geraden Linie, welche die Solstitialpunkte verbindet.

Im Perihelium ist die fortschreitende Bewegung der Erde in ihrer Bahn am schnellsten, im Aphelium ist sie am langsamsten.

- 43 **Entfernung der Sonne von der Erde.** Wir haben bisher nur das Verhältniss betrachtet, in welchem die Entfernung der Sonne von der Erde im Laufe eines Jahres sich ändert, ohne dass von der absoluten Grösse dieser Entfernung die Rede gewesen wäre.

Zur Bestimmung der Entfernung eines Gestirns von der Erde werden dieselben Grundsätze in Anwendung gebracht, welche man auch anwendet, um die Entfernung eines unzugänglichen Punktes auf der Erde zu ermitteln. — Wenn man von einem Punkte A der Erdoberfläche auf ein Gestirn E , Fig. 77, beobachtet, so sieht man es nicht genau in derselben Richtung, als wenn man sich im Mittelpunkte O der Erde befände;

Fig. 77.



OE oder die damit parallele Linie Ae macht einen kleineren Winkel mit der Verticalen OAZ als die Visirlinie AE . Der Winkel eAE oder der ihm gleiche Winkel AEO wird nun die Parallaxe des Gestirnes E genannt. Die Parallaxe ist also nichts Anderes als der Winkel, um welchen sich die Zenithdistanz des Gestirnes vermindern würde, wenn man vom Beobachtungsorte A zum Mittelpunkte der

de herabsteigen und von dort aus das Gestirn *E* beobachten ante.

Die Parallaxe eines Gestirnes wird ein Maximum sein, wenn sich selbe in der Horizontalebene des Beobachtungsortes *A* befindet, wie

In diesem Falle wird die Parallaxe mit dem Namen der Horizontalparallaxe bezeichnet. Die Horizontalparallaxe eines Gestirnes ist der Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erde, von jenem Gestirn aus gesehen, erscheint.

Ist der Durchmesser der Erde und die Horizontalparallaxe eines Gestirnes bekannt, so kann man daraus die Entfernung desselben von Erde berechnen.

Da der Mittelpunkt der Erde unzugänglich ist, so kann die Horizontalparallaxe auch nicht unmittelbar gemessen werden. Um sie zu messen, muss man gleichzeitig die Zenithdistanz des Gestirnes mit grosser Genauigkeit an zwei Orten der Erde messen, welche bei nahe gleicher geographischer Länge möglichst weit von einander entfernt sind. Aus diesen Messungen lässt sich dann, wie wir bald sehen werden, die Horizontalparallaxe ableiten.

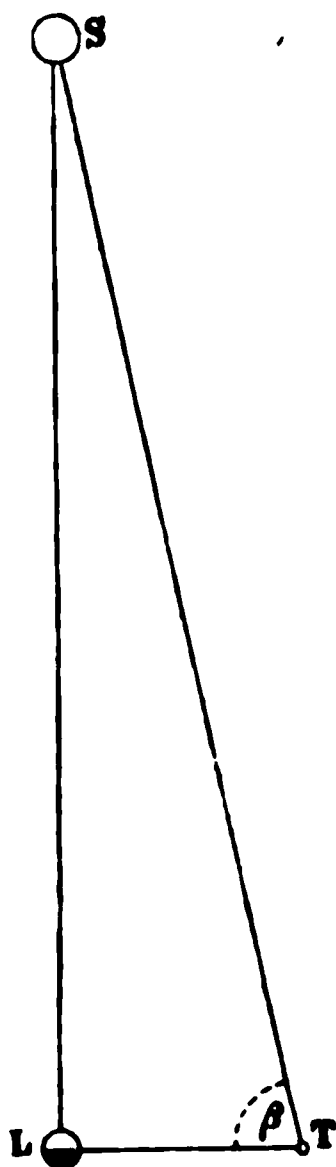
Je weiter ein Gestirn von der Erde entfernt ist, desto kleiner wird die Parallaxe, und desto schwieriger wird es, sie mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, weil alsdann die unvermeidlichen Beobachtungsfehler einen viel zu bedeutenden Bruchtheil des gesuchten Werthes machen und die geringste Verschiedenheit im Werthe der Horizontalparallaxe schon enorme Veränderungen im Werthe der Entfernung des Gestirnes nach sich zieht. Die Parallaxe der Sonne ist schon viel zu klein, als dass man sie auf dem angedeuteten Wege mit einer Genauigkeit ermitteln könnte, welche auch nur eine angenähert richtige Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde zuliesse; nur auf indirectem Wege lässt sich diese für die Astronomie so wichtige Grösse mit hinreichender Genauigkeit bestimmen, und daher kommt es denn auch, dass man noch bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts ganz unrichtige Vorstellungen von der Entfernung der Sonne hatte.

Man nahm diese Entfernung früher stets zu klein an. Nach Pythagoras sollte die Sonne 16- bis 18 000 Meilen von der Erde entfernt sein. Aristarch von Samos bestimmte die Horizontalparallaxe der Sonne zu 3', wonach ihre Entfernung von der Erde 1146 Erdhalbmesser betragen würde. Kepler war geneigt, die fragliche Parallaxe auf 1' zu reduciren und Halley nahm sie nur zu 25". Alle diese Werthe waren aber noch zu gross.

Was nun die indirecten Methoden zur Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde betrifft, so gründen sie sich darauf, dass man zunächst die Entfernung solcher Gestirne zu bestimmen sucht, welche näher, wie der Mond, der Erde stets näher sind als die Sonne, oder welche, wie Mars und Venus, wenigstens in gewissen Zeiten ihr näher kommen, und alsdann von diesen auf die Entfernung der Sonne schliesst.

Wie wir im fünften Capitel sehen werden, ist der Mond sehr nahe um 60 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt. Wenn man nun in dem Moment, in welchem der Mond gerade das erste oder letzte Viertel zeigt, wo also die Gränze zwischen dem erleuchteten und dem dunklen Theile des Mondes genau eine gerade Linie bildet, den Winkelabstand zwischen Sonne und Mond misst, so hat man damit die nöthigen Data, um die Entfernung der Sonne von der Erde zu berechnen. In Fig. 78 sei T die Erde, L der Mond, S die Sonne. In dem

Fig. 78.



besprochenen Zeitpunkte steht die Linie SL rechtwinklig auf LT ; da man nun den Winkel STL , den wir mit β bezeichnen wollen, gemessen hat, so ergibt sich

$$TS = \frac{LT}{\cos. \beta}.$$

Auf diesem Wege hat in der That Riccioli die Entfernung der Sonne von der Erde annähernd genau bestimmt; einer grösseren Schärfe ist jedoch diese Methode nicht fähig, weil man nicht mit grosser Genauigkeit den Augenblick ermitteln kann, wo jene Lichtgränze des Mondes eine gerade Linie ist.

Hat man die Horizontalparallaxe des Mars oder der Venus, also die Entfernung dieser Planeten von der Erde, zur Zeit ihrer Ernähe ermittelt, so kann man mit Hülfe der im nächsten Capitel zu besprechenden Kepler'schen Gesetze die Entfernung der Sonne berechnen. Nach dieser Methode wurde in der That die Entfernung der Sonne angenähert richtig bestimmt. Die Vergleichung der Marsbeobachtungen, welche Richer auf der bereits auf Seite 67 erwähnten

Reise angestellt hatte, mit den gleichzeitigen Observationen von Piccard und Römer in Paris, ergab für den Mars eine Parallaxe von $25,5''$, woraus für die Sonnenparallaxe ein Werth von 9,5 Secunden folgt. Aus später beobachteten Marsoppositionen wurden noch grössere Werthe der Sonnenparallaxe ($10''$ ja $10,7''$) berechnet.

Im Jahre 1862 hat man den Mars zur Zeit seiner Opposition auf verschiedenen Sternwarten der nördlichen und südlichen Hemisphäre (Pulkawa, Greenwich, Washington, Cap der guten Hoffnung, Santiago de Chili u. s. w.) auf das Sorgfältigste beobachtet. Aus der Discussion dieser Meridianbeobachtungen des Mars hat nun der amerikanische Astronom Newcomb den Werth der Sonnenparallaxe zu 8,855 Secunden abgeleitet.

Im Jahre 1691 hatte Halley darauf aufmerksam gemacht, dass die seltene, im nächsten Capitel näher zu besprechende Erscheinung eines

überdies durch den Vorübergang der Venus vor der Sonnenscheibe ein Mittel bietet, die Parallaxe der Sonne weit genauer zu bestimmen, als nach den bisher besprochenen Methoden. Mit Ungeduld erwartete man deshalb die nächste ekliptische Conjunction dieses Planeten, welche am 5. Juni 1761 stattfand, und aus deren Beobachtung sich ein zwischen 8'' und 9'' liegender Werth für die Sonnenparallaxe ergab.

Der nächste Venusdurchgang, welcher am 3. Juni 1769 stattfand, wurde mit möglichster Genauigkeit an verschiedenen möglichst vortheilhaft gelegenen Orten der Erde beobachtet. Aus einer Combination aller als gemacht zuverlässigen Beobachtungen leitete Encke 8,6'' als Werth der Horizontalparallaxe der Sonne ab.

Nehmen wir 8,6'' für den mittleren Werth der Horizontalparallaxe der Sonne, so ist der Abstand der Sonne von der Erde gleich

$$\frac{1}{\tan 8,6''} = \frac{1}{0,00004169} = 24\,000 \text{ Erdhalbmessern.}$$

Aus dem oben mitgetheilten Werthe der Excentricität der Erdbahn giebt sich dann, dass die Entfernung der Erde von der Sonne im Perihelium 23 600, im Aphelium aber 24 400 Erdhalbmesser beträgt.

Da der Erdhalbmesser gleich 860 geographischen Meilen ist (S. 62), trägt demnach die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde in der Zahl 20 Millionen geographische Meilen.

Spätere Berechnungen haben einen etwas grösseren Werth für die Sonnenparallaxe ergeben und zwar im Mittel 8,915'', wonach dann der mittlere Abstand der Erde von der Sonne gleich 19 884 000 Meilen ist.

Um diesen Raum zu durchlaufen, würde eine Kanonenkugel (1000' Geschwindigkeit in der Secunde) eine Zeit von 12 Jahren brauchen.

Dimensionen der Sonne. Nach §. 38 erscheint uns der Durchmesser der Sonne, wenn sie sich in ihrer mittleren Entfernung von der Erde befindet, unter einem Winkel von 32' 3,3'' oder 1923,3'', während umgekehrt, dem vorigen Paragraphen zufolge, die Erde von der Sonne aus gesehen, nur unter einem Winkel von 17,2'' erscheint. Der Durchmesser der Sonne ist demnach $\frac{1923,3}{17,2}$, also 112 mal so gross als der Durchmesser der Erde.

Daraus folgt dann weiter, dass der körperliche Inhalt der Sonne 104 928mal grösser ist, als das Volumen der Erde.

Der Durchmesser der Sonne beträgt 190 000, der Umfang derselben bezu 580 000 geographische Meilen.

Die Fig. 79 (a. f. S.) dient dazu, eine Vorstellung von dem Grössenverhältniss der Sonne und der Erde zu geben. Unterhalb des grossen kreisförmigen Kreises, welcher die Sonne darstellt, befindet sich ein ganz kleiner weisser Kreis, welcher die Erde im richtigen Verhältniss zur Sonne stellt. Rechts von der Erde sieht man in verhältnissmässiger Entfernung den Mond. Man sieht, dass eine Kugel, deren Halbmesser die Ent-

fernung des Mondes von der Erde ist, kaum mehr als den halben Radius der Sonne haben würde. Wenn also die Sonne hohl wäre und die Erde sich in ihrem Mittelpunkte befände, so könnte der Mond in seiner jetzigen Entfernung von der Erde noch um dieselbe kreisen, und würde der äusseren Sonnenhülle nur unbedeutend näher sein als ihrem Mittelpunkte.

Die Mittelpunkte der beiden Kreise, welche in Fig. 79 Sonne und Erde im richtigen Grössenverhältniss darstellen, müssten in eine Ent-

Fig. 79.



fernung von 16,5 Metern gebracht werden, wenn diese Entfernung sich zum Durchmesser der weissen Scheibe in Fig. 79 ebenso verhalten würde wie die Entfernung der Erde von der Sonne zum Durchmesser der Sonne.

In den oberen Ecken der Fig. 79 sieht man noch im richtigen Grössenverhältniss die Planeten Jupiter und Saturn dargestellt, von welchen später die Rede sein wird.

Viertes Capitel.

Die Planeten.

Scheinbare Bewegung der Planeten. Ausser der Sonne 45 dem Monde giebt es noch andere Gestirne, welche zwar im Ansehen Fixsternen ähnlich, dennoch ihre Stellung unter denselben fortwährend ändern, und deshalb Wandelsterne oder Planeten genannt werden.

Den Alten waren nur diejenigen Planeten bekannt, welche mit blossen Augen sichtbar sind. Es sind deren fünf: Mercur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄.

Die Bahnen dieser älteren Planeten liegen der Sonnenbahn so nahe, dass sie sich nur um einige Grade nördlich oder südlich von der Ekliptik entfernen. Die Gestalt dieser Bahnen ist aber weit verwickelter als die der Sonnenbahn, wie man sich aus der Betrachtung von Fig. 1 Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5 und Tab. 6 überzeugen kann.

Fig. 1 Tab. 3 stellt die Bahn der Venus im Jahre 1847 dar. Vom 1. Januar bis zum 5. September erscheint sie noch ziemlich einfach; die Venus bewegte sich während dieser Zeit wie die Sonne von West nach Ost auf ihrer Bahn. Ist der Sonnenbahn ziemlich ähnlich; dann aber bildet sie, eine Zeitlang sich in entgegengesetzter Richtung, d. h. von Ost nach West bewegend, eine förmliche Schleife.

Ähnliche Erscheinungen bieten alle Planeten. Im grössten Theile ihrer Bahn bewegen sie sich von West nach Ost, sie sind dann richtig, während eine kürzere Zeit hindurch ihre Bewegung die entgegengesetzte Richtung hat, d. h. rückläufig ist.

Bei dem kleinen Maassstabe der Fig. 1 auf Tab. 3, ist natürlich keine grosse Genauigkeit möglich, deshalb ist ein Theil der Venusbahn des Jahres 1847, und zwar gerade derjenige, welcher die Schleife enthält, Tab. 4, in grösserem Maassstabe dargestellt.

Auf Tab. 5 findet man die scheinbare Bahn des Saturn für die Jahre 1852 und 1853. Dieselbe Figur zeigt auch ein Stück der Mercursbahn von 1852.

Ein Planet erscheint stationär zur Zeit, wo seine rechtläufige Bewegung in eine rückläufige, oder umgekehrt die rückläufige Bewegung wieder in die rechtläufige übergeht; denn in dieser Zeit sind die Ortsveränderungen der Planeten sehr unbedeutend.

Den Winkelabstand eines Planeten von der Sonne nennt man seine Elongation.

Zwei der genannten Planeten, Mercur und Venus, entfernen sich nie weit von der Sonne. Für den Mercur ist die grösste Elongation 22° , für die Venus kann sie bis auf 48° wachsen. Deshalb sind diese beiden, welche die unteren Planeten genannt werden, auch nur kurz vor Sonnenaufgang am östlichen, oder nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel sichtbar.

Die übrigen Planeten, welche die oberen Planeten genannt werden können sich dagegen um alle Winkeldistanzen von der Sonne entfernen.

Wenn ein Planet gleiche Rectascension mit der Sonne oder mit einem anderen Planeten hat, wenn sie also zusammen durch den Meridian gehen, so sagt man, sie seien in Conjunction, und bezeichnet dies durch \odot . Wenn man z. B. in einem astronomischen Jahrbuche findet, dass für den 10. Juli 1854 $\odot \odot \text{h}$, so heisst dass, dass an dem genannten Tage Venus und Saturn in Conjunction sind, also (fast) gleichzeitig durch den Meridian gehen.

Wenn ein Planet um 90° von der Sonne absteht, so sagt man, er sei mit der Sonne in Quadratur, und bezeichnet dies durch \square . So war z. B. für den 8. September 1854 $\text{h} \square \odot$ d. h. an diesem Tage stand Saturn um 90° von der Sonne ab, die Differenz in der Culminationszeit der Sonne und des Saturn betrug also 6 Stunden.

Wenn ein Planet um 180° von der Sonne absteht, so dass er um Mitternacht culminirt, so sagt man, dass er in Opposition sei, und bezeichnet dies durch \odot . Am 15. Juli 1854 war $\text{h} \odot \odot$.

Nur die oberen Planeten können, dem oben Gesagten zufolge, mit der Sonne in Quadratur und in Opposition kommen; Mercur und Venus niemals. Dagegen unterscheidet man bei den unteren Planeten eine obere und eine untere Conjunction. Die erstere findet Statt, wenn der Planet in rechtläufiger Bewegung die Sonne passirt, wenn er also von ihrer Westseite auf die Ostseite derselben tritt; die untere Conjunction dagegen ist diejenige, bei welcher der Planet in rückläufiger Bewegung an der Sonne vorbeizieht.

Betrachten wir den Lauf der Planeten näher, so bemerken wir, dass die Abwechselung zwischen recht- und rückläufiger Bewegung in enger Beziehung zur Constellation der Planeten mit der Sonne steht. Die rechtläufige Geschwindigkeit ist für die oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction

in Maximum; dagegen ist die rückläufige Bewegung am schnellsten zur Zeit der Opposition bei den oberen, und der unteren Conjunction bei den unteren Planeten.

Die Bildung der Schleifen in den Planetenbahnen ist also an einen bestimmten Cyclus gebunden, sie wiederholt sich, so oft der Planet mit der Sonne in Opposition oder untere Conjunction kommt. Die Zeit von einer Opposition oder unteren Conjunction bis zur nächsten, also gewissermaßen ein scheinbarer Umlauf des Planeten in Beziehung auf die Sonne, wird die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit genannt; sie hat für die einzelnen Planeten folgende Werthe:

Mercur . . .	115 Tage 21 Stunden
Venus . . .	583 " 22 "
Mars . . .	780 " 0 "
Jupiter . . .	398 " 22 "
Saturn . . .	378 " 2 "

Für die Venus beträgt also die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden unteren Conjunctionen ungefähr 1 Jahr und 7 Monate, für den Mars beträgt die Zeit von einer Opposition bis zur nächsten nahezu 2 Jahre und 2 Monate.

Ferner sehen wir, dass die Planetenbahnen theilweise nördlich, theilweise südlich von der Ekliptik liegen. Das Stück der Saturnsbahn, welches auf Tab. 5. verzeichnet ist, liegt zwar ganz auf der Südseite der Sonnenbahn, allein im Laufe des Jahres 1857 ging er auf die Nordseite derselben über.

Die Punkte, in welchen eine Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, werden die Knoten genannt, und zwar ist der aufsteigende Knoten (Ω) derjenige, in welchem der Planet von der Südseite der Ekliptik auf die Nordseite übertritt, während der Punkt, in welchem die bis dahin nördliche Breite des Planeten in eine südliche übergeht, mit dem Namen des niedersteigenden Knotens (ϖ) bezeichnet wird.

Die Zeit zwischen je zwei aufeinander folgenden Durchgängen eines Planeten durch den aufsteigenden Knoten wird die siderische Umlaufszeit des Planeten genannt. Die folgende Tabelle enthält (jedoch nur bis auf Stunden genau) die siderische Umlaufszeit für die mit bloßem Auge sichtbaren Planeten:

Mercur	87 Tage 23 Stunden,
Venus	224 " 17 "
Mars	1 Jahr 321 " 22 "
Jupiter	11 " 315 " 14 "
Saturn	29 " 161 " 22 "

Die nächsten Durchgänge der Venus durch den aufsteigenden Knoten finden Statt:

am 30. März 1871,
am 10. November 1871.

Mars passirt zunächst den niedersteigenden Knoten:

am 2. Juli 1871,

den aufsteigenden Knoten:

am 1. Mai 1872.

Der letzte Durchgang des **Jupiter** durch den aufsteigenden Knoten fand am 29. August 1859 Statt; der nächste wird am 8. Juli stattfinden.

Am 9. November 1857 passirte **Saturn** den aufsteigenden Knoten und am 10. Dezember 1872 wird er durch den niedersteigenden Knoten gehen.

Die Knoten einer Planetenbahn fallen nicht immer auf die Stelle der Ekliptik, wohl aber liegt die Stelle, in welcher die Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, nicht sehr weit von demjenigen Punkte in welchem die vorige gleichgerichtete Durchschneidung stattfand. Die siderische Umlaufszeit giebt uns also wenigstens annäherungsweise die Zeit, welche der Planet braucht, um scheinbar das ganze Himmelsgewölbe zu umlaufen, und so giebt uns denn die siderische Umlaufszeit einen Anhaltspunkt, um zu beurtheilen, wie schnell sich im Allgemeinen die einzelnen Planeten am Himmel fortbewegen. **Mercur** braucht seinen Umlauf durch den ganzen Thierkreis zu vollenden, ungefähr 8 Monate; er verändert also seine Stellung am Himmel schneller als die anderen Planeten. Die Geschwindigkeit der Ortsveränderung unter den Sternen nimmt in dem Maasse ab, als die Umlaufszeit des Planeten grösser wird. **Jupiter** schreitet im Laufe eines ganzen Jahres nur um ungefähr 30° unter den Gestirnen weiter, **Saturn** nur um 12° .

Um den scheinbaren Lauf der Planeten gehörig zu studiren ist nichts mehr geeignet als denselben auf Sternkarten in der Art zu verfolgen, wie es auf Tab. 4, 5 und 6 für einzelne Fälle geschehen ist. Am besten ist nun die eine der schon oben besprochenen, bei **Wagner** in Frey erschienenen Sternkarten, nämlich die Karte der Aequatorealzone des gestirnten Himmels besonders geeignet. Es sind solche Karten durch den Buchhandel zu beziehen, in welchen die Bahn der **Venus** für die Jahre 1857, 1858 und 1859, und zwar für jedes Jahr mit anderen Bahnen aufgetragen ist. Auf anderen Exemplaren dieser Karten ist die Bahn des **Jupiter** für 1857 bis 1860, die des **Saturn** für 1857 bis 1861 und die Bahn der Oppositionsperiode des **Mars** in den Jahren 1858 und 1860 aufgezeichnet.

46 Die scheinbare Bahn des Mars während seiner nächsten Oppositionsperiode. Um die scheinbare Bahn eines Planeten am Himmel selbst zu verfolgen, ist keiner geeigneter als der **Mars**. **Mercur** kann in dieser Beziehung gar nicht die Rede sein, weil er uns überhaupt kaum sichtbar wird. **Venus** glänzt zwar herrlich am Morgen- oder Abendhimmel, sie legt in kurzer Zeit eine grosse Bahn am Himmelsgewölbe zurück, allein man kann diese Bahn unter den Fix-

en nicht verfolgen, weil Venus nur in der Dämmerung erscheint, also einer Zeit, in welcher kaum Sterne erster Grösse in ihrer Nähe sichtbar werden. Jupiter und Saturn erscheinen allerdings am vollen Nachthimmel, ihre Bewegung unter den Fixsternen ist aber bei weitem nicht so rasch und auffallend wie die des Mars.

Die nächste Periode, welche sich zur Verfolgung der scheinbaren Bahn des Mars bietet, ist nun die vom October 1870 bis in den August 1871, welche wir jetzt etwas näher besprechen wollen.

Am 12. März 1870 sind Sonne und Mars in Conjunction, an diesem Tage gehen also diese beiden Gestirne fast gleichzeitig durch den Meridian, Mars kann also nicht gesehen werden.

Sonne und Mars schreiten nun in ihrer scheinbaren Bahn am Himmelsgewölbe von West nach Ost voran, weil aber die Sonne in dieser Richtung rascher voranschreitet als Mars, so wird sich Mars mehr und mehr nach Westen hin von der Sonne entfernen, er wird also früher aufgehen als die Sonne und zwar nach einiger Zeit um 1, um 2, um 3 u. s. w. Stunden, der Mars wird also wieder sichtbar, wenn er sich vor anbrechender Morgendämmerung am östlichen Himmel aufgeht, wird also zuerst in den Morgenstunden wieder sichtbar. Es findet dies zunächst wieder Statt im Mai 1870.

Der Aufgang des Mars findet im Jahre 1870 Statt:

am	6. Mai	um	4 Uhr	Morgens,
"	31. "	"	3 "	"
"	30. Juni	"	2 "	"
"	26. August	"	1 "	"
"	30. November	um	Mitternacht,	

Im Jahre 1871 findet der sichtbare Aufgang des Mars Statt:

am	1. Januar	um	11 ^h 11 ^m	Abends,
"	15. "	"	10 37	"
"	1. Februar	"	9 47	"
"	15. "	"	8 50	"
"	1. März	"	7 41	"
"	15. "	"	6 19	"

Von da an findet der Aufgang des Mars schon bei Tage Statt. Der Weg, welchen Mars vom 24. October 1870 an am gestirnten Himmel durchläuft, ist auf Tab. 6 dargestellt. Am 24. October 1870 erblickt man ihn etwas nördlich von Regulus, nach Osten hin fortschreitend entfernt er sich aber rasch von diesem Hauptstern des grossen Löwen, so man aus der Figur ersieht, in welcher die Positionen des Mars für den 12. November, den 2. und den 28. December markirt sind. Ohn-gefähr in der Mitte des December 1870 geht Mars etwas nördlich vom Stern β virginis vorbei; am 4. Januar 1871 geht er nördlich über α virginis weg und nun wird seine rechtläufige Bewegung nach und

nach langsamer, um am 9. Februar 1871 in der Nähe des Sternes γ virginis die Gränze seiner rechtläufigen Bewegung zu erreichen und rückläufig zu werden.

Zunächst ist die rückläufige Bewegung des Mars eine langsame bald aber wird sie rascher, um am 21. März das Maximum ihrer Schwwindigkeit zu erlangen.

Jetzt ist Mars in Opposition mit der Sonne, er culmirt um Mitternacht.

In seiner rückläufigen Bewegung geht er nun wieder nördlich β virginis vorbei und erreicht die Gränze seiner rückläufigen Bewegung am 2. Mai, an welchem Tage Mars wieder sehr nahe an derselben steht, welche er am 4. December 1870 einnahm.

Von nun an bewegt sich Mars wieder rechtläufig, bis er in den Strahlen der Sonne verschwindet. Ende Mai geht er dicht über β virginis vorüber, läuft dann südlich von η und γ virginis vorbei, um gegen Juli die Spica, den Hauptstern des Sternbildes der Jungfrau zu erreichen.

Zu Anfang Juni 1871 culminirt Mars um 8 Uhr Abends und um 1 Uhr Nachts unter, er ist nun für den Rest seiner Sichtbarkeit Jahre 1871 in den Abendstunden am westlichen Himmel sichtbar; Culmination und sein Untergang rücken aber immer mehr zurück. 26. Juli geht er um Mitternacht, am 25. Juli geht er schon um 10^h unter, zur Zeit also, in welcher Mars in die Nähe der Spica kommt ist er nur noch kurze Zeit nach einbrechender Dunkelheit sichtbar gegen Ende August ganz in den Strahlen der Sonne zu verschwinden.

So wird also Mars vom Anfang Mai 1870 bis zur Mitte 1871 und zwar von Beginn des Jahres 1871 in den Abendstunden sichtbar sein, man kann also bei sternhellem Himmel während dieser Zeit seine Stellung beobachten und mit der auf Tab. 6 verzeichnete vergleichen.

Die darauf folgende Sichtbarkeitsperiode des Mars fällt in das Jahr 1873 und zwar kommt

- 1^o Mars am 17. Januar 1873.
- 2^o stationär und wird rückläufig am 21. März 1873.
- 3^o Mars am 27. April 1873.
- 4^o wird stationär und rechtläufig am 7. Juni 1873.
- 5^o Mars am 11. August 1873.

Der Weg, welchen Mars im Jahre 1873 in rückläufiger Bewegung durchläuft, liegt zwischen den Parallelen

mit der Decl. $14^{\circ} 34' 30''$ und Decl. $14^{\circ} 35'$

gegen Punkt der in der Nähe von α scorpii etwas östlich von der V. Longitudinalen zwischen α und δ scorpii liegt und

mit der Decl. $15^{\circ} 42' 30''$ und Decl. $15^{\circ} 25'$

der Punkt der auf der Longitudinalen zwischen α und δ virginis zwischen α und δ scorpii liegt (der Punkt der Mars zwischen α und δ scorpii liegt) der

heil des rückläufigen Weges fällt also in das Sternbild der Wage, der letzte kleinere in das Sternbild der Jungfrau.

Venus erscheint zunächst wieder als Abendstern im Sommer und als Morgenstern in den letzten Monaten des Jahres 1871.

Die nächste Opposition des Jupiter findet in den letzten Tagen des Jahres 1870, die nächste Schleifenbildung des Jupiter findet also im Winter 1870/71 Statt und zwar im Sternbild der Zwillinge, während Saturn, welcher um jene Zeit im Sternbild des Schützen stehen wird, zunächst am 28. Juni 1871 mit der Sonne in Opposition kommt.

Auf den Verlauf der nächsten Sichtbarkeitsperioden werden wir bei Besprechung der einzelnen Planeten noch einmal zurückkommen.

Veränderlichkeit im Glanz und der Grösse der Planeten 47

Die Helligkeit der Planeten ist sehr veränderlich; am geringsten ist sie stets zur Zeit der Conjunction, und bei den unteren Planeten zur Zeit der oberen Conjunction. Je mehr sich nun der Planet scheinbar von der Sonne entfernt, desto grösser wird sein Glanz, welcher bei den oberen Planeten sein Maximum zur Zeit der Opposition erreicht.

Wenn die Venus nach der oberen Conjunction sich ostwärts von der Sonne entfernt, so nimmt ihr Glanz fortwährend zu, bis sie ihre grösste Elongation passirt und sich der Sonne wieder bis auf 40° genähert hat. In dieser Stellung ist ihr Glanz ein Maximum; darauf nimmt er ab bis zur unteren Conjunction, und wächst dann wieder, bis die Venus sich um 40° auf der Westseite von der Sonne entfernt hat, wo dann der Glanz abermals ein Maximum wird.

Aehnlich sind die Variationen im Glanze des Mercur, welcher aber überhaupt schwer sichtbar ist, weil er immer sehr nahe bei der Sonne verweilt.

Diese Veränderungen des Glanzes hängen mit den Variationen der scheinbaren Durchmesser der Planeten zusammen. Der Winkel, unter welchem die verschiedenen Planeten erscheinen, ist folgender:

	Zur Zeit der	
	oberen Conjunction.	unteren Conjunction.
Mercur	4"	12"
Venus	9,3	64
	Conjunction	Opposition
Mars	4"	27"
Jupiter	30	49
Saturn	15	21

Die oberen Planeten erscheinen, durch hinlänglich vergrössernde Fernrohre gesehen, stets als runde Scheiben; anders verhält es sich mit den beiden unteren Planeten, welche Phasen zeigen, die denen unseres Mondes ähnlich sind. In der Nähe der oberen Conjunction erscheint die Venus als volle Scheibe, zur Zeit der grössten Elongation ist sie ungefähr halb voll, und je mehr sie sich der unteren Conjunction nähert,

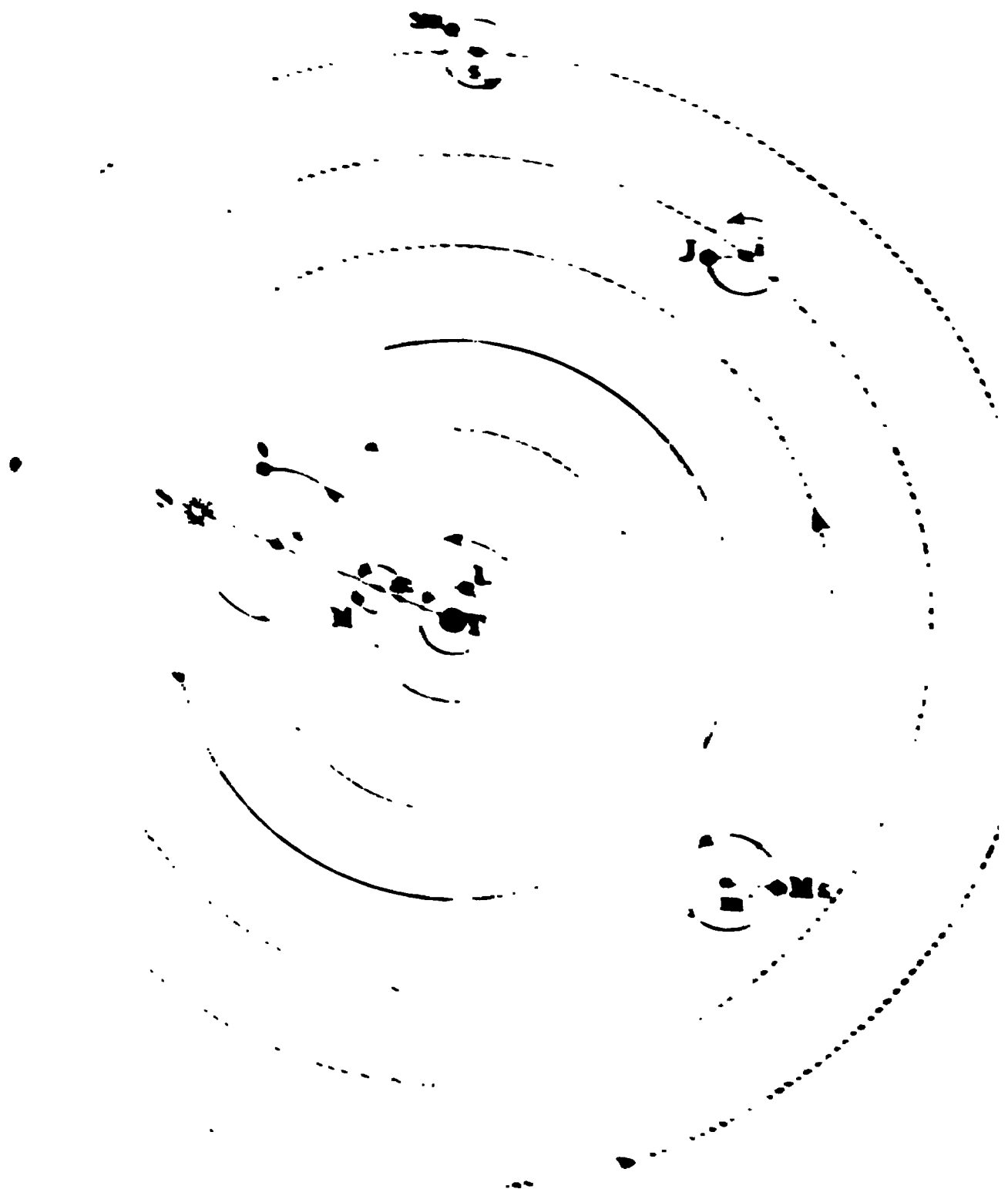
desto mehr wird sie sichelförmig, während zugleich ihr Durchmesser wächst, wie dies Fig. 2 auf Tab. 3 zeigt.

Mit bloßem Auge sind die Phasen der Venus nicht sichtbar; wurden von Galiläi mit dem von ihm construirten Fernrohre entdeckt.

Wir werden später diesen Punkt noch ausführlicher besprechen.

- 48 **Das Ptolemäische Planetensystem.** Einer der Ersten, welche es versuchten, die scheinbaren Bahnen der Planeten zu erklären, Ptolemäus, welcher in der Mitte des zweiten Jahrhunderts unserer Zeitrechnung zu Alexandrien lebte. Er stellte die Erde in die Mitte des Weltalls und um sie sollten dann der Mond, die Sonne und fünf damals bekannten Planeten kreisen, und zwar ordnete er sie nach ihrer mittleren scheinbaren Geschwindigkeit so, dass diejenigen, welche schneller ihren Ort unter den Fixsternen ändern, die der Erde näher sein sollten: von der Erde ausgehend, folgten sich demnach die Planeten in folgender Ordnung: Mond, Mercur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 80 stellt die Grundidee des Ptolemäischen Systems dar.

Fig. 80.



Die Alten unterschieden zweierlei Ungleichheiten im Laufe der Planeten.

Die erste Ungleichheit besteht darin, dass die Planeten sich keineswegs mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen, dass sie bald schneller, bald langsamer in ihrer Bahn voranschreiten, wie wir dies auch schon bei der Sonne gesehen haben.

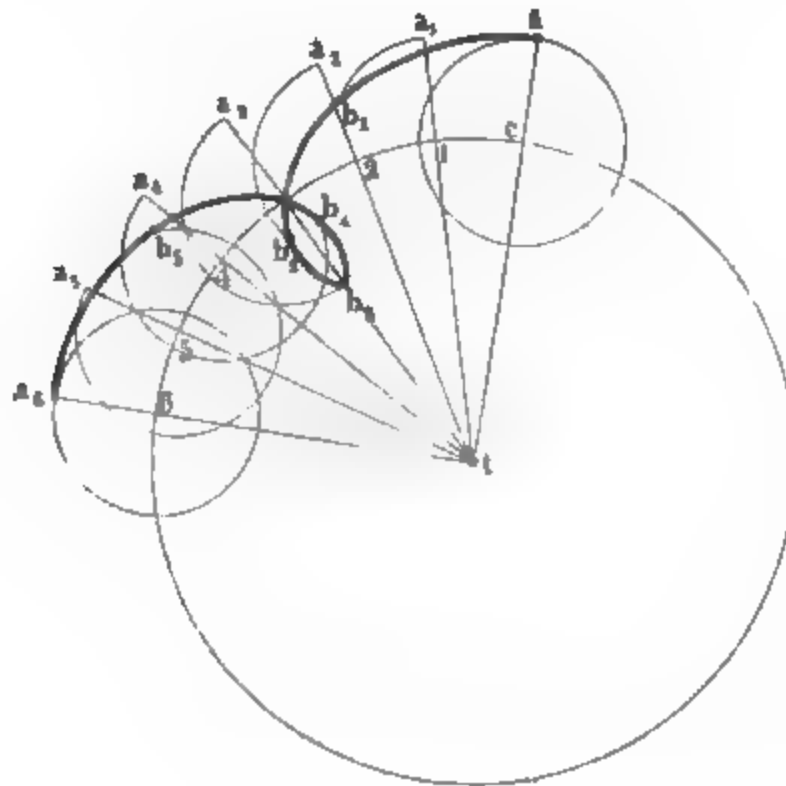
Diese erste Ungleichheit suchte man, wie bei der Sonne, durch die Annahme des excentrischen Kreises zu erklären.

Die zweite Ungleichheit kommt weder beim Monde noch bei der Sonne, sondern nur bei den Planeten vor; sie besteht darin, dass die rechtläufige Bewegung in gewissen Zeiten aufhört und in eine rückläufige, retrograde, sich verwandelt, wodurch dann die erwähnten Schleifen und Schlingen entstehen.

Diese zweite Ungleichheit suchte Ptolemäus durch die Theorie der Epicyklen zu erklären, indem er annahm, dass die Planeten nicht unmittelbar in Kreisen um die Erde laufen, wie Mond und Sonne, sondern dass sie sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in Kreisen bewegen, deren Mittelpunkte selbst wieder einen Kreis um einen festen oder auch selbst wieder beweglichen Mittelpunkt beschreiben.

Diese in der That ganz sinnreiche Theorie erklärt der Art nach alle sonderbaren Unregelmässigkeiten, welche wir bereits kennen lernten. In Fig. 81 soll das Wesen dieser epicyclischen Bewegung anschaulich werden. Der Körper a bewege sich in einem Kreise, dessen Radius ca ist und dessen Mittelpunkt c selbst wieder einen Kreis um den Punkt t

Fig. 81.



beschreibt, und zwar möge der Körper a einen Umlauf c vollenden, während dieser Mittelpunkt selbst von c bis 6 fortschreitet. Es ergibt sich dann leicht aus dem Anblick der Figur, dass a der Reihe nach die Punkte b_1, b_2, b_3 u. s. w. passiert, dass also $a b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 a$ der Weg im Raume ist, den der Körper a in Folge seiner epicyklischen Bewegung zurücklegt.

Eine solche Curve $a b_1 b_2 b_3$ u. s. w. wird eine Epicykloide genannt.

Der Kreis, in welchem sich a in Beziehung auf den selbst fortschreitenden Mittelpunkt c bewegt, wird der Epicykel genannt: der Kreis aber, welchen der Mittelpunkt c des Epicykels beschreibt, wird der deferirende Kreis oder der Deferent genannt.

Man sieht wohl ein, dass sich auf diese Weise nicht allein der Stand und die rückläufige Bewegung der Planeten im Allgemeinen sondern auch die eigenthümliche Gestalt der scheinbaren Planetenbahn recht gut erklären lassen, wenn man bedenkt dass man die Epicykloide von einem Standpunkte aus betrachtet, welche etwas über oder unter der Ebene dieser Curve liegt. Was die Gestalt der Epicykloiden betrifft, hängt dieselbe einerseits von dem Verhältniss der Radien ca und des Epicykels und des Deferenten, und dann wieder von dem Verhältniss der Geschwindigkeiten ab, mit welchen die Planeten den Epicykel und der Mittelpunkt des Epicykels, den Deferenten, durchlaufen.

In Fig. 82 sind die epicyklischen Kreise der verschiedenen Planeten durch ausgezogene, die Deferenten dagegen durch punktirte Kreise angedeutet. Es sind m, c, m', i und s' die Mittelpunkte der epicyklischen Kreise, in welchen die Planeten Mercur M , Venus V , Mars Ms' , Jupiter J und Saturn S laufen, während diese Mittelpunkte selbst mit gleichförmiger Geschwindigkeit in den entsprechenden punktirten Kreisen fortschreiten.

Um zu erklären, dass die unteren Planeten Mercur und Venus nicht über eine gewisse Winkelgrösse von der Sonne entfernen, man annehmen, dass die Mittelpunkte m und c der Deferenten des Mercur und der Venus stets auf der geraden Linie ST bleiben, welche man von der Sonne zur Erde gezogen denken kann, dass also der Mittelpunkt des Epicykels der beiden unteren Planeten seinen Umlauf in gleicher Zeit vollendet, wie die Sonne.

Da die Gestalt der Epicykloide, welche ein Planet beschreibt, nicht von der absoluten Grösse des Deferenten und des Epicykels, sondern von dem Verhältniss der Radien dieser beiden Kreise abhängt, so kann man also um die scheinbare Bahn eines Planeten nach dem Ptolemäischen System zu erklären, nur das richtige Verhältniss zwischen den Radien der beiden Kreise und den Umlaufszeiten ermitteln muss, während man den Halbmesser des Deferenten vollkommen willkürlich wählen kann, so ist es am einfachsten für den Deferenten der Venus und des Mercur geradezu die Sonnenbahn zu nehmen, so also, dass Venus und

ar um die Sonne kreisen, während diese um die Erde herumläuft. Diese Weise erleidet das Ptolemäische System für die beiden un- Planeten die durch Fig. 83 erläuterte Modification.

Fig. 82.

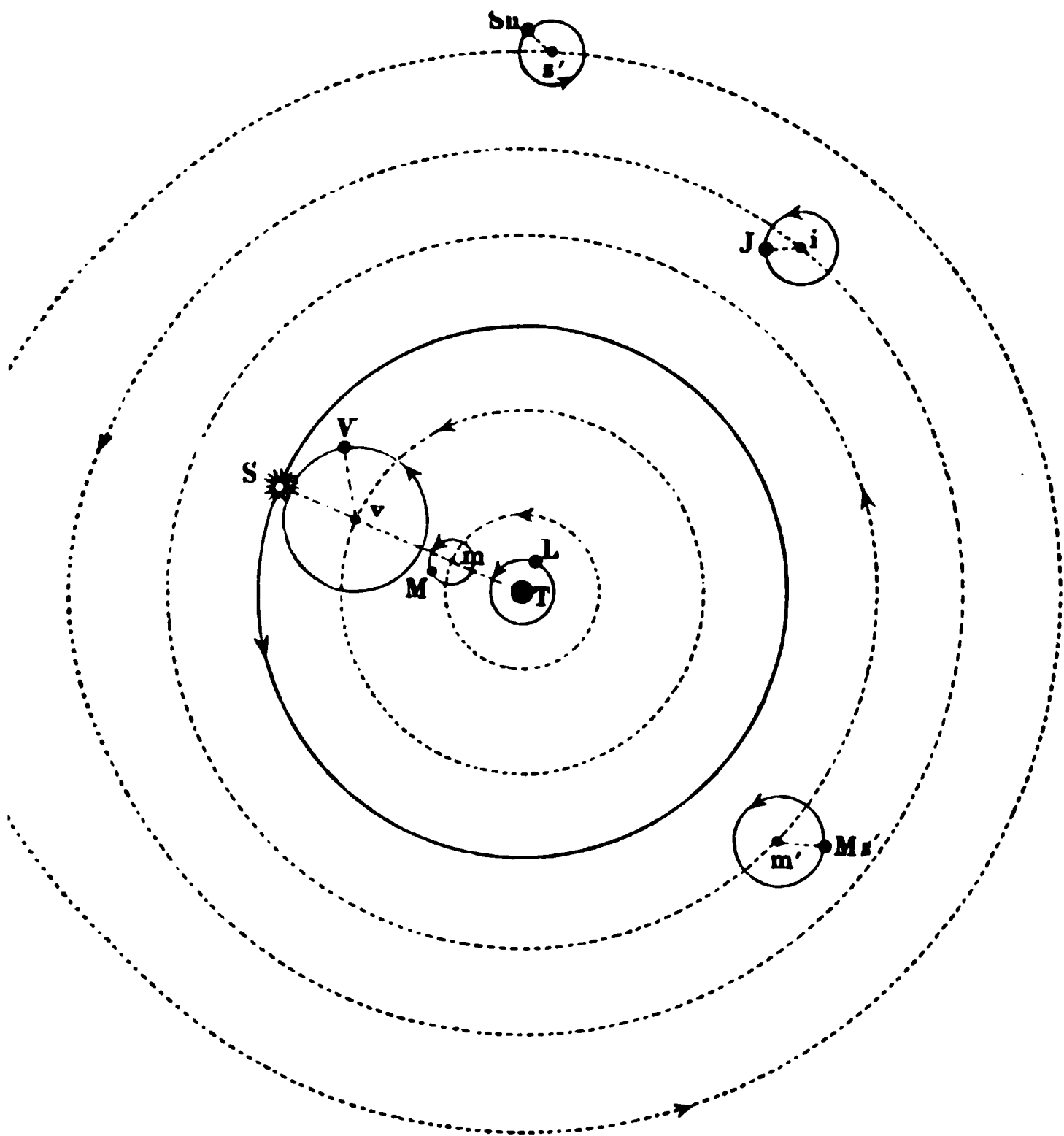
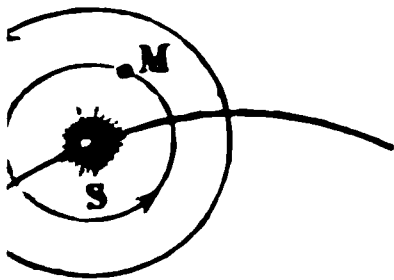


Fig. 83.



Bei dem unter dem Namen des Tychonischen bekannten Planetensystem kreisen alle Planeten um die Sonne, welche selbst wieder in einem Kreise um die feststehende Erde herumläuft. Wir können eine eingehendere Besprechung dieses Systems um so mehr unterlassen, als es höchst zweifelhaft ist, ob dasselbe wirklich von Tycho de Brahe herrührt.



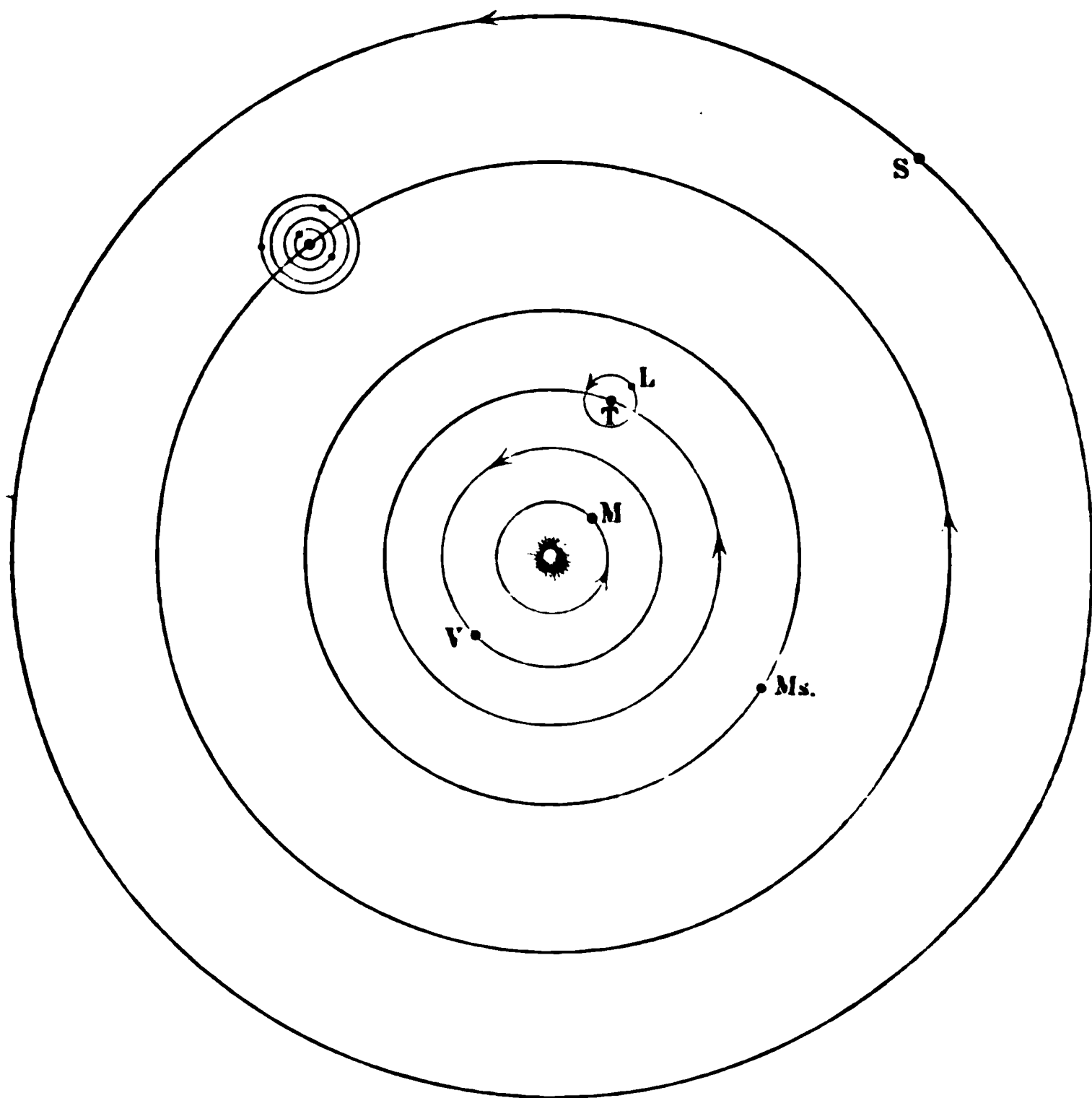
Das Copernicanische Planetensystem 49

2. Copernicus kehrte das Ptolemäische Planetensystem geradezu indem er die Sonne als den Mittelpunkt des Weltalls annahm und die in die Reihe der sie umkreisenden Planeten setzte. Um die Sonne kreisen, nach seiner Annahme, der Mercur und die Venus,

dann folgt die Erde, welche wieder vom Monde umkreist wird, ferner Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 84 erläutert das Copernicanische System.

Um die theilweise rückläufige Bewegung der Planeten am Fixsternhimmel zu erklären, war die Einführung der Epicyklen in die geoc-

Fig. 84.



trische Theorie des Ptolemäus durchaus nothwendig. Dadurch war aber die Einheit und Harmonie des Weltgebäudes verloren gegangen. Die Epicykelntheorie erschien dem Copernicus wie eine Verunstaltung der anschaulichen und ästhetischen Form des Weltalls.

Indem Copernicus die Sonne in die Mitte des Planetensystems setzte, gelang es ihm, die zweite Ungleichheit der Planetenbewegung, die zeitweise retrograde Bewegung und die daraus sich ergebende Bildung von Schleifen in den Planetenbahnen ohne Epicykeln zu erklären, indem er diese Erscheinungen lediglich auf die Bewegung der Erde zurückführte, und so den Erscheinungen Genüge leistete, ohne die Einfachheit des Weltsystems aufzuopfern.

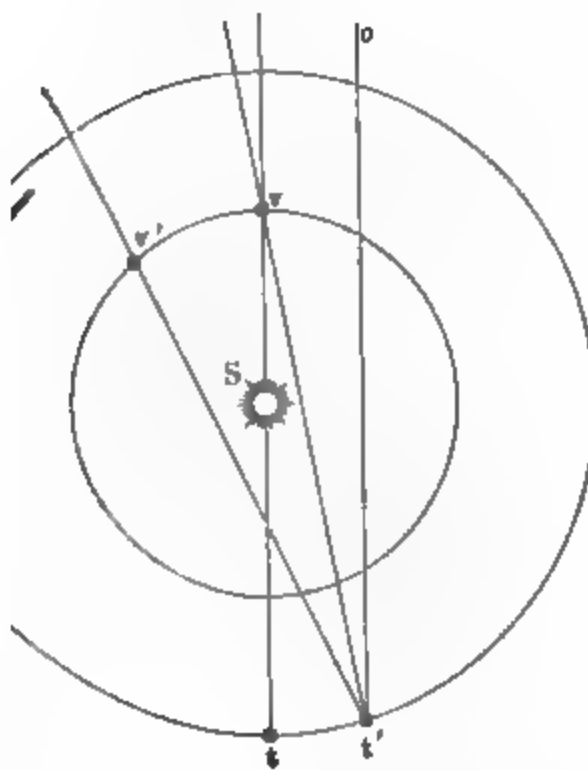
Er selbst sagt in dieser Beziehung: „Durch keine andere Anordnung habe ich eine so bewunderungswürdige Symmetrie des Universums,

„harmonische Verbindung der Bahnen finden können, als da ich entleuchte, die Sonne, die ganze Familie kreisender Gestirne d, in die Mitte des schönen Naturtempels wie auf einen könig-Thron gesetzt.“

Erklärung der Rückläufigkeit nach dem Copernicanischen System. 50

Es wurde bereits oben S. 122 angeführt, dass die Bewegung der Planeten die grösste rechtläufige Geschwindigkeit, wenn der Planet gerade durch die Sonne verdeckt wird, also oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der Conjunction. Dies ergibt sich nun als nothwendige Folge aus dem Copernicanischen System. In Fig. 85 sei S die Sonne, t und v die jetzigen Stellungen der Erde und der Venus zur Zeit der erwähnten

Fig. 85.



Conjunction. Wenn nun der Planet stehen bliebe und die Erde sich von t nach t' bewegte, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel $ot'v$ nach Osten bewegt haben ($t'o$ parallel mit tv). Nun aber bewegt sich der Planet selbst noch von v nach v' und dadurch wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Visirlinie noch um den ganzen Winkel $v't'v$ mehr nach Osten gedreht erscheinen; es summirt sich also hier die wahre Bewegung des Planeten zu der scheinbaren, welche durch das Fort-

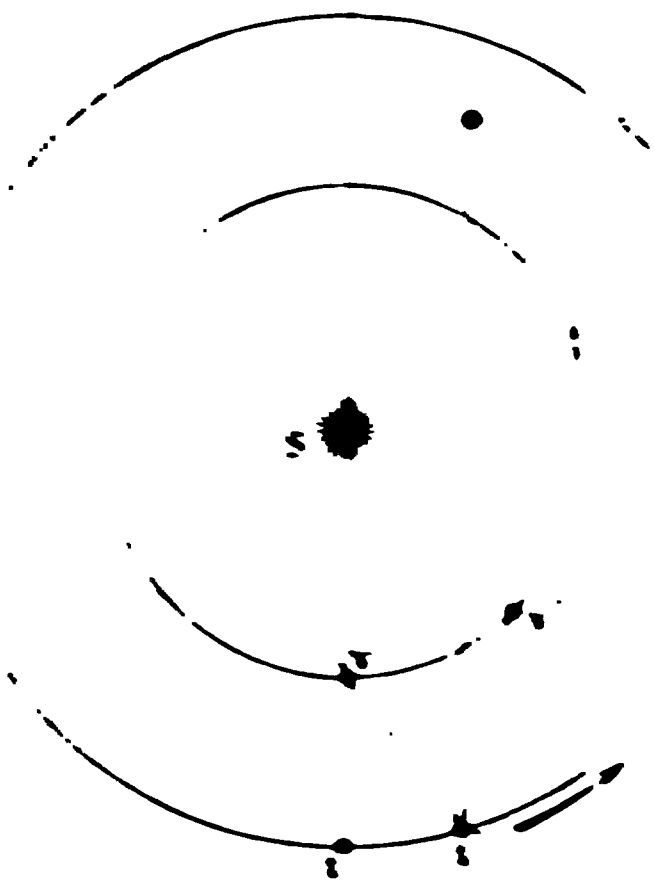
der Erde in ihrer Bahn bewirkt wird.

Findet sich aber einer der unteren Planeten gerade zwischen der Erde und der Sonne, wie Fig. 86 (a. f. S.) zeigt, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel $ot'v$ nach Osten bewegen, wenn nur die Erde von t nach t' fortschritte und der Planet in v stehen bliebe. Da aber, dass der Planet von v nach v' sich bewegt, wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Visirlinie wieder um den Winkel $v't'v$ nach Westen gedreht. Da nun die Planeten, welche der Sonne näher liegen, schneller in ihrer Bahn fortschreiten als die entfernteren, ist $v't'v$ grösser als $ot'v$, also der Winkel $v't'v$ grösser als $ot'v$, folglich scheint der Planet am Himmel scheinbar nach Westen fortzubewegen. Ist die Erde von t nach t' und der Planet von v nach v' fortschreitend, so ist die Zeit der unteren Conjunction ist also die Bewegung der Venus und Mercur eine rückläufige.

Auf ähnliche Weise lässt sich zeigen, dass für die oberen Planeten die scheinbare Bewegung zur Zeit der Opposition rückläufig ist.

Fig. 36.

51



Construction d
scheinbaren Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System
Unsere nächste Aufgabe setzt nun darin, zu zeigen, dass der scheinbare Lauf der Planeten am Himmelgewölbe sich vollständig aus dem Copernicanischen System ableiten lässt im Allgemeinen erklären, sondern auch in speziellen Fällen übereinstimmend mit der Erfahrung ableiten lässt.

Betrachten wir zunächst den Lauf der Venus vom 3. Juli 1847 bis zum 2.

center deselben Jahres, welcher auf Tab. 4 dargestellt ist.

Die Venus ändert im Laufe dieser Zeit ihre Stellung nicht allein in Beziehung auf ihre Länge, sondern auch in Beziehung auf ihre Breite, d. h. sie bewegt sich nicht allein in der Ebene der Ekliptik bald rückwärts, sondern sie ändert auch ihre nördliche oder südliche Entfernung von der Ekliptik. Unsere Aufgabe zerfällt also in zwei Theile: es ist nämlich nachzuweisen, wie

1) die Veränderungen in der Länge, und

2) wie die Veränderungen in der Breite zu erklären sind.

Gehen wir zum ersten Theil der Aufgabe über.

Tab. VII stellt nach dem Copernicanischen System die Bahnen der Venus und der Erde und zwar in dem richtigen Verhältnisse ihres Halbmessers dar. V_1, V_2, V_3, V_4 und V_5 sind die Orte, an welchen sich die Venus nach dem genannten Systeme wirklich am 3. Juli, am 4. August, am 3. September, am 7. October, am 8. November und am 2. December befand. An denselben Tagen aber befand sich die Erde an den Punkten T_1, T_2, T_3, T_4 und T_5 . Am 3. Juli sah man also die Venus in der Richtung T_1V_1 , am 4. August sah man sie in der Richtung T_2V_2 u. s. w.

Es ist nun zu untersuchen, wo diese Visirlinien auf den Thierkreis treffen. Der Durchmesser der Erdbahn ist verschwindend klein im Vergleich zu der Entfernung der Fixsterne; sollte also in unserer Figur die Verlängerung der Linie T_1V_1 die richtige Stelle des Thierkreises treffen, so müsste dieser mit einem so enormen Halbmesser gezogen werden,

in Papier ihn aufnehmen könnte; zieht man aber den Thierkreis mit einem kleineren Halbmesser, so braucht man nur parallel mit TV eine Linie durch den Mittelpunkt der Figur zu ziehen, um zu finden, auf welcher Stelle des Thierkreises am 3. Juli die Venus projecirt erschienen. Diese durch den Mittelpunkt der Figur gezogene Richtungslinie trifft auf einen Punkt des Thierkreises, welcher ungefähr 32° westlich vom Herbstpunkte (\cap in Fig. 1, Tab. 3 der Punkt, in welchem sich Ekliptik und Aequator schneiden) liegt. Am 3. Juli 1847 war also die Länge der Venus $180^\circ - 32 = 148^\circ$.

Auf gleiche Weise ergiebt sich die Länge der Venus:

am 4. August	177 $^\circ$
„ 5. September	196 $^\circ$
„ 7. October	187 $^\circ$
„ 8. November	185 $^\circ$
„ 2. December	203 $^\circ$.

Es ergiebt sich also aus dieser Construction in der That, wie die Venus vom 3. Juli bis zum 5. September rechläufig war, wie sie dann rückläufig wurde, um nach einiger Zeit wieder in die rechläufige Bewegung überzugehen.

Hätte man dieselbe Construction für jeden Tag des angegebenen Zeitraums gemacht, so hätte man gefunden, dass die Dauer der retrograden Bewegung sich ungefähr vom 10. September bis zum 23. October erstreckt.

Da die scheinbaren Planetenbahnen nicht genau in die Ekliptik fallen, sondern zum Theil auf der Nordseite, zum Theil auf der Südseite derselben liegen, so müssen die Ebenen der wahren Planetenbahnen einen Winkel mit der Ebene der Erdbahn machen. Die Neigung der Venusbahn gegen die Erdbahn beträgt 3° .

Ein Theil der wahren Venusbahn liegt also nördlich, der übrige Theil derselben liegt südlich von der Ebene der Erdbahn. Die Ebene der Tab. VII. stellt die Ebene der Erdbahn dar. Die nördliche Hälfte der Venusbahn, welche oberhalb dieser Ebene liegt, ist ausgezogen, während die südlich von der Ebene der Ekliptik liegende Hälfte der Venusbahn gestrichelt ist.

Der Winkel, welchen die Ebene der Venusbahn mit der Ebene der Erdbahn macht, beträgt, wie schon erwähnt worden ist, 3° . Die beiden Ebenen schneiden sich in einer Linie AB , Tab. VII., welche den Namen der Knotenlinie führt. Die Venus passirt während eines ganzen Umlaufs um die Sonne zweimal die Ebene der Erdbahn, einmal in dem Punkte a , welcher der niedersteigende Knoten genannt und durch \cap bezeichnet wird, um von der Nordseite der Ekliptik auf die Südseite derselben überzugehen, dann aber wieder im Punkte b , dem aufsteigenden Knoten (Ω), welchen sie passirt, wenn die südliche Breite der Venus in eine nördliche übergeht.

Am 3 Juli 1847 befindet sich der Tab. VII zufolge die Venus niedriglich von der Ekliptik, übereinstimmend mit dem scheinbaren Tab. 4: sie näherte sich aber dem niederstehenden Knoten, welcher ungefähr am 23 Juli passirte. Von nun an blieb die der Venus eine südliche, bis sie am 11. November den aufsteigenden Knoten passirte: der ganze scheinbare Weg, welchen die Venus vom 23. Juli bis zum 11. November durchläuft, muss also auf die Südseite der Ekliptik sein, wie auch Tab. 4 zeigt.

Suchen wir nun aber durch Construction die der Venus für eine angegebene Zeit zu ermitteln.

Eine rechtwinklig auf der Knotenlinie AB , Tab. I stehende Ebene schneidet die Ebene der Venusbahn Linie CD . In Fig. 87 sei die Ebene des Papiers der Knotenlinie AB rechtwinklig stehende Ebene der Durchschnitte derselben mit der Ebene der Venus MN der Durchchnitt derselben mit der Ebene der Erde schneiden sich diese beiden Linien unter einem Winkel 31° . Soll nun für einen bestimmten Tag, etwa für September 1847, die Breite der Venus bestimmt werden, so ziehe man von einem beliebigen Orte P_1 , Tab. V Perpendikel $P_1 Q_1$ auf CD und übertrage alsdann die SQ_1 auf die Linie CD in Fig. 87: die Entfernung des Q_1 von der Linie MN giebt alsdann die wahre Länge der Venus von der Ebene der Ekliptik für je an. Um aber zu erfahren, wie weit östlich und von uns gesehen die Venus von der Ekliptik entfernt ist, hat man auf MN einen Punkt Q_2 zu bestimmen, von Q_2 so weit östlich wie P_1 auf Tab. VII von I man entzieht die Linie $Q_2 Q_1$, so ist der Winkel, diese Linie mit der Linie MN macht, gleich dem zu welchem die Venus zur angegebenen Zeit sich der Ekliptik erheben. Dieser Winkel ist unserer (von uns) ungefähr 6° .

Für den 3. September 1847 ergiebt sich also aus der Construction die Länge der Venus $196'$ (16 vom Herbstpunkte $0 = 1$), die südliche Breite aber

Durch eine ähnliche Construction ergiebt sich 3 Juli die nördliche Breite der Venus gleich 1 während gleichzeitig ihre Länge $145'$ (32' west Herbstpunkte) ist.

Bestimmt man auf ähnliche Weise durch Construction die scheinbaren Oerter der Venus von S zu S Tab. 3 Juli bis zum 2. December 1847, so ergiebt si

at der scheinbare Lauf der Venus im angegebenen Zeitraum so, wie er b. 4 verzeichnet ist.

Wir haben für einen speciellen Fall nach dem Copernicanischen System ein Stück der scheinbaren Bahn eines Planeten durch Construction abgeleitet. Soll eine solche Construction genaue Resultate liefern, muss die Zeichnung in grösserem Maassstabe mit äusserster Sorgfalt geführt werden, wie dies in dem sehr empfehlenswerthen Werkchen: *Der Planetenlauf, eine graphische Darstellung der Bahnen der Planeten u. s. w.* von Dr. Nell, Braunschweig 1858“ geschehen ist.

Die beiden ersten Tafeln dieses Werkchens sind als Tab. VIIIa. und IXa. in den Atlas unserer kosmischen Physik übergegangen.

Tab. VIIIa. enthält die Bahnen der Erde und der beiden unteren Planeten, eingetheilt nach täglicher Bewegung; man kann also auf dieser Tafel ansehen:

1. an welcher Stelle ihrer Bahn die Erde an jedem Tage des Jahres Mittags um 12 Uhr steht;

2. an welchen Stellen ihrer Bahn die Venus an den einzelnen Tagen des Jahres 1856 bis 1879 steht. Der Zwischenraum zwischen je zwei Theilstrichen der Venusbahn ist der Weg, welchen dieser Planet an einem Tage zurücklegt.

Bei dem ersten der längeren Theilstriche z. B., welche auf der linken Seite der Venusbahn unter der durch die Sonne gezogenen Horizontalinie liegt, stehen die Zahlen 61, 69, 77 und dann 1. August; d. h. an dieser Stelle steht die Venus am 1. August 1861, am 1. August 1869 und am 1. August 1877; bei dem nach unten folgenden Theilstriche steht sie also am 2. August der genannten Jahre und dem nächsten folgenden Theilstriche steht sie in den genannten Jahren am 4. August. Bei diesem letzten Theilstriche steht sie aber auch am 1. September und 20. Januar 1856, 1864 und 1872;

3. an welcher Stelle seiner Bahn der Mercur an jedem Tage der Jahre 1856 bis 1865 steht. Nach den für die Venusbahn gegebenen Erläuterungen ist wohl die Eintheilung der Mercurbahn mit den beigegebenen Jahreszahlen u. s. w. ohne Weiteres verständlich.

Auf Tab. IXa. sind auf der Erdbahn die Stellen angegeben, in welchen sich die Erde am 1., 11. und 21. eines jeden Monats befindet; dieselben Monattage findet man auf dieser Tafel die Stellung des Mars von 1856 bis 1870 angegeben.

Die Eintheilung der Marsbahn bedarf noch einiger Erläuterung. Die längeren Theilstriche, bei welchen eine Jahreszahl steht, bezeichnen die Stelle, an welcher sich Mars am 1. Januar der genannten Jahre befindet; der Raum zwischen je zwei auf einander folgenden längeren Theilstrichen aber ist der Weg, welchen der Mars im Laufe eines Monats zurücklegt, wonach die Ortsbestimmung des Mars während der genannten Jahre wohl keine Schwierigkeit haben wird.

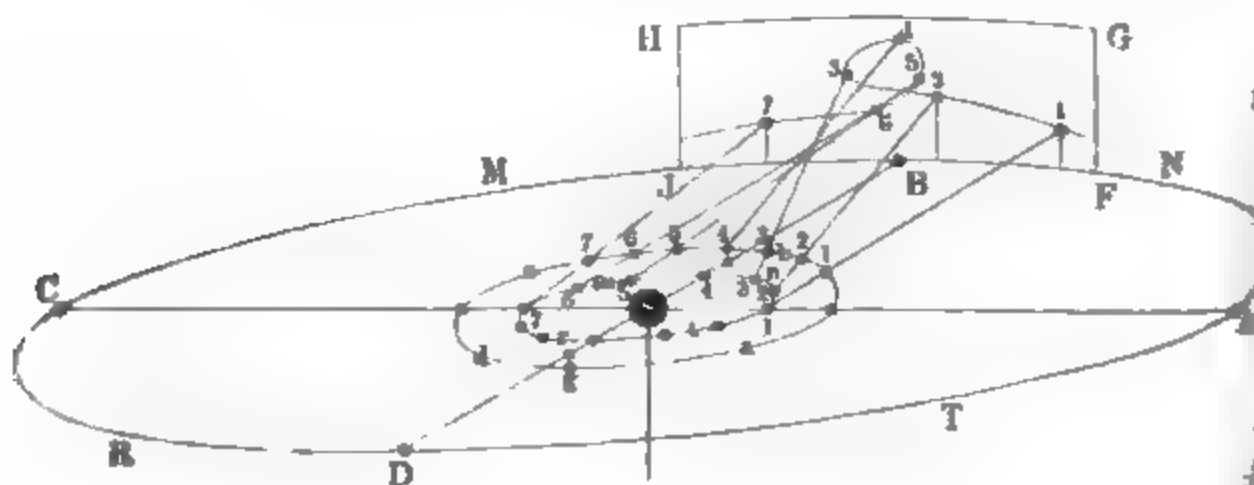
Die an den Bahnen des Jupiter, Saturn und Uranus angebrachten Theilstriche bezeichnen die Stelle, an welcher sich die genannten Planeten am 1. jedes Monats in den beigeschriebenen Jahren befinden.

Nach den oben mitgetheilten Principien unterliegt es nun keiner Schwierigkeit, aus dem auf Tab. VIIIa. und Tab. IXa. dargestellten wahren Lauf der Planeten den scheinbaren Lauf abzuleiten. Eine eingehende Besprechung dieses Gegenstandes findet der Leser in dem bereits erwähnten Werkchen des Dr. Neill.

Es versteht sich von selbst, dass man den scheinbaren Lauf der Planeten, von denselben Principien ausgehend, auch durch Rechnung ermitteln kann, und zwar werden die Resultate der Rechnung ungleich genauer sein, als die durch Zeichnung erhaltenen.

- 52 Modell zur Erklärung des Planetenlaufs.** Um bei dem Unterrichte recht anschaulich zu machen, wie die scheinbare Bahn der Planeten das Resultat einer gleichzeitigen Bewegung des Planeten um die Erde im Sinne des Copernicanischen Systems ist, bediene ich mich mit Erfolg eines aus starkem Draht und Bleikugeln verfertigten Modells, welches Fig. 88 in $\frac{1}{10}$ der natürlichen Grösse schematisch darstellt.

Fig. 88.



Auf einem Eisenstab ist eine Metallkugel *S* befestigt, welche die Sonne repräsentirt. In *S* stecken rechtwinklig zu einander vier horizontale Eisenstäbchen *SA*, *SB*, *SC* und *SD*, welche aussen durch einen Messingring *NMRT* verbunden sind, welcher den Durchschnitt der Ebene der Erdbahn mit dem Himmelsgewölbe, also die Ekliptik darstellt. Concentrisch mit diesem äusseren Ring ist ein kleinerer in derselben Ebene befindlicher Ring *nmrt* von Messingdraht gelegt, welcher die Erdbahn darstellt. Auf dieser Erdbahn sind in gleichen Zwischenräumen 12 Bleikugeln angebracht, welche die Stellen bezeichnen, an welchen sich die Erde in 12 verschiedenen stets um 30 Tage aus einander liegenden Zeitpunkten befindet. — Die 7 ersten dieser Stellungen sind mit den Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. bis 7 bezeichnet.

Um S ist aber noch ein dritter Messingring $abcdg$ gelegt, welcher die Bahn eines oberen Planeten, etwa des Mars, repräsentirt. Die Ebene dieser Bahn fällt nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammen, denn der Punkt g derselben liegt unter SD , während der mit 4 bezeichnete Punkt dieser Bahn eben so hoch über SB liegt. Auf diesen Ring sind ebenfalls 7 Bleikugeln befestigt, welche in unserer Figur auch mit 2, 3 u. s. w. bezeichnet sind, und welche die Orte angeben, in welchen der Planet in denselben Zeitpunkten befindet, in denen die Erde an mit gleichen Ziffern bezeichneten Orte der Erdbahn einnimmt.

Der Uebersicht wegen ist es zweckmässig, in dem ausgeführten Modell die entsprechenden Kugeln mit gleichen Farben anzustreichen, also weiss die beiden mit 1 bezeichneten Kugeln, roth die beiden mit 2 bezeichneten u. s. w.; die folgenden Kugelpaare grün, gelb, blau, violett und schwarz.

Die Abstände zweier auf einander folgenden Kugeln, also 1 bis 2, bis 3 u. s. w. müssen natürlich auf der Bahn $abcd$ kleiner sein als auf der Erdbahn, weil ja jeder fernere Planet langsamer in seiner Bahn fortbewegt als die der Sonne näheren. In unserem Modell verhalten sich die Abstände zweier auf einander folgenden Kugeln auf den beiden Ringen $abcd$ und $nmrt$ wie 17 zu 23.

Denken wir uns nun von einem bestimmten Ort der Erde über den gleichzeitigigen Ort des Mars, also z. B. von 1 der Erdbahn über 1 der Marsbahn eine gerade Linie gezogen, so wird diese das Himmelsgewölbe in einem bestimmten Punkte treffen, der in unserem Modell mit derselben Ziffer bezeichnet ist, wie die entsprechenden Oerter der Erde und des Mars. In unserem Modell ist, um diese Projectionen des Mars auf das Himmelsgewölbe aufzeichnen zu können, ein Blechstück $FGHJ$ an dem äusseren Ringe befestigt, auf dieses sind die Projectionen des Mars aufgetragen, und zwar mit gleicher Farbe bezeichnet wie die entsprechenden Positionen der Erde und des Mars, und endlich die drei zusammengehörigen Orte, also z. B. 2 auf der Erdbahn, 2 auf der Marsbahn und 2 auf dem Himmelsgewölbe durch ein gerade gestrecktes Drahtstück verbunden, welches die von der Erde über den Mars nach dem Himmelsgewölbe gerichtete Visirlinie repräsentirt.

Werden die Marsprojectionen 1, 2, 3...7 auf $FGHJ$ durch eine Curve verbunden, wie es in unserer Figur geschehen ist, so stellt diese einen Theil der scheinbaren Marsbahn dar. Um die nöthige Anschaulichkeit zu erreichen, muss man von den wahren Grössenverhältnissen abweichen und namentlich die Neigung der Marsbahn bedeutend vergrössern, wie es auch in dem Fig. 88 dargestellten Modell geschehen ist.

**Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicani- 53
schen System.** Soll die Bahn eines Planeten und seine Bewegung in derselben vollständig bestimmt sein, so muss man folgende Elemente kennen:

- 1) den Halbmesser der Bahn (den mittleren Abstand von der Sonne);
- 2) die siderische oder wahre Umlaufszeit;
- 3) die Neigung der Bahn;
- 4) die Länge des aufsteigenden Knotens;
- 5) die Epoche.

Diese fünf Elemente sind für die sechs älteren Planeten folgende:

	Mittlerer Abstand von der Sonne.	Siderische Umlaufszeit.	Neigung der Bahn.	Länge des auf- steigenden Knotens.	Epoche.
Mercur . .	0,3871	87 ^h 23 ^m 16'	7° 0,2'	46° 24'	241° 54'
Venus . .	0,7233	224 16 49	3 23,5	75 12	289 40,5
Erde . . .	1,0000	365 6 9	0 0		100 32,5
Mars . . .	1,5237	686 23 30	1 51,1	48 17	317 19,5
Jupiter . .	5,2028	4332 14 2	1 18,7	98 49	307 7,5
Saturn . .	9,5388	10759 5 16	2 29,5	112 17	73 23,5

Zur Erläuterung dieser Tabelle sind noch einige Bemerkungen beizufügen.

Im Ptolemäischen System kommt es nur auf das Verhältniss des Deferenten zum Epicykel an, das Verhältniss aber, in welchem die Radien der deferirenden Kreise für die verschiedenen Planeten stehen, ist dagegen ganz gleichgültig; das Ptolemäische System bietet deshalb auch keinen Anhaltspunkt zur Bestimmung der absoluten oder relativen Entfernung der Planeten vom Centralkörper des Systemes.

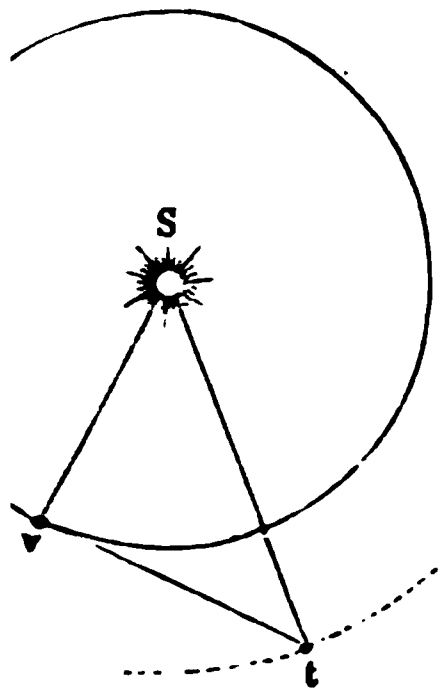
Anders verhält es sich beim Copernicanischen System; hier hängt die Gestaltung der scheinbaren Planetenbahn wesentlich ab von dem Grössenverhältniss, in welchem der Abstand der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn steht; die Abstände der Planeten von der Sonne gehören im Copernicanischen System zu den wesentlichen Elementen der Bahn.

Eine annähernd genaue Bestimmung dieser Abstände ergibt sich für die unteren Planeten schon aus einer einzigen, für die oberen Planeten aus der Combination zweier passender Beobachtungen.

In Fig. 89 sei S die Sonne, der ganze ausgezogene Kreis die Bahn der Venus, der punktirte Bogen ein Stück der Erdbahn. Für die Zeit nun, in welcher uns der Winkelabstand der Venus von der Sonne ein Maximum wird, ist eine von der Erde zur Venus gezogene Linie tv eine Tangente der Venusbahn, es steht also tv rechtwinklig auf vS und es ist also $Sv = tS \cdot \sin. 46^\circ$, da der Winkel Stv , das Maximum der Elongation zwischen Venus und Sonne, im Mittel 46° beträgt. Wenn wir

den Abstand St der Erde von der Sonne mit 1 bezeichnen, so ist der Abstand vS der Venus von der Erde gleich 0,72.

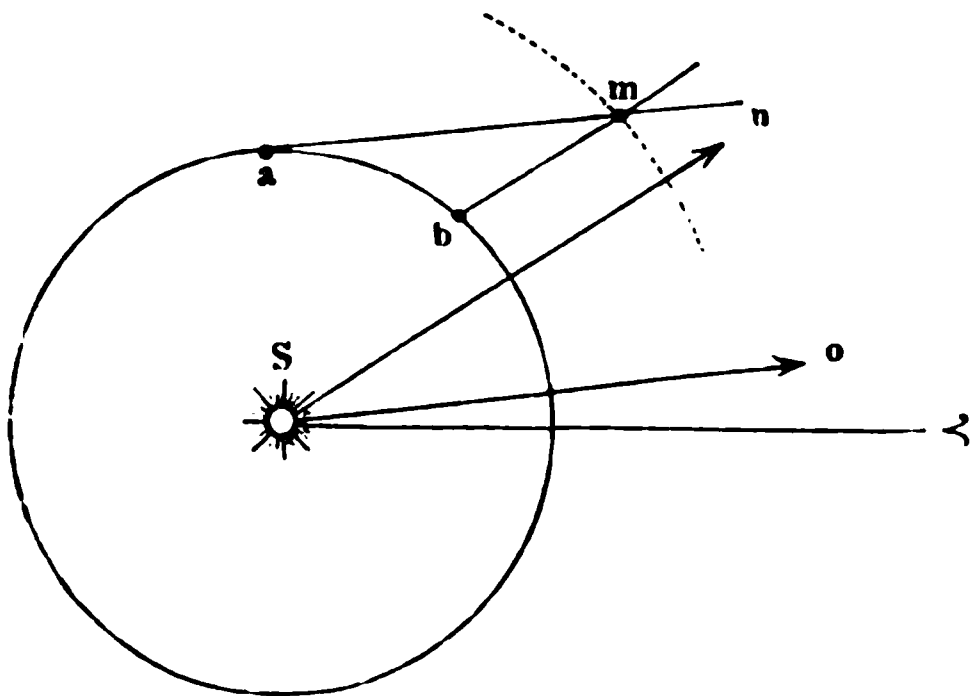
Fig. 89.



In derselben Weise lässt sich auch die Entfernung des Mercur von der Sonne bestimmen.

Eine annähernd genaue Bestimmung des Abstandes der oberen Planeten von der Sonne ergibt sich aus der Beobachtung zweier auf einander folgender Durchgänge derselben durch den aufsteigenden Knoten. So ging z. B. Mars durch den aufsteigenden Knoten am 1. Januar 1846 und dann wieder am 19. November 1847. Die entsprechenden Durchschnittspunkte der scheinbaren Marsbahn mit der Ekliptik lagen aber 7° und 33° östlich vom Frühlingspunkte; demnach sind So und Sn , die Richtungen, nach welchen am 1. Januar 1846 und am 19. November 1847 Mars von der Erde aus gesehen ward. Wenn nun aber

Fig. 90.



der angezeichnete Kreis die Erdbahn darstellt, so sind a und b die Punkte, welche die Erde in den genannten Tagen einnahm. Zieht man durch a eine Linie parallel mit So , durch b eine zweite parallel mit Sn , werden sich diese Linien in m schneiden. Dieser Punkt m aber ist derjenige Punkt der Marsbahn, in welchem sich der fragliche Mars am den genannten Tagen befindet, und Sm ist die Entfernung des Mars von der Sonne, wenn Sa der Abstand zwischen Erde und Sonne ist.

Da eine solche Bestimmungsweise nicht ganz genau ist, sondern nur eine erste Annäherung liefern kann, versteht sich von selbst, und es so mehr, als der Abstand der Planeten von der Sonne, wie wir

bald sehen werden, selbst innerhalb gewisser Gränzen veränderlich was daher rührt, dass die Sonne nicht genau im Mittelpunkte der Planetenbahnen liegt. Die obige Tabelle giebt den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne.

Was unter der Neigung der Bahn zu verstehen ist, wird dem vorigen Paragraphen klar sein.

Wenn man von der Sonne aus durch den aufsteigenden Knoten der Planetenbahn eine gerade Linie gezogen denkt, wie AB , Tab. VII, welche von dem Mittelpunkte der Sonne über den aufsteigenden Knoten b der Venusbahn gezogen ist, so trifft diese Linie die Ekliptik in einem bestimmten Punkte B . Der Bogen vom Frühlingspunkte bis zu diesem Punkte ist die (heliocentrische) Länge des aufsteigenden Knotens. So sehen wir aus Tab. VII, dass die Länge des aufsteigenden Knotens der Venus 75° ist.

Die Epoche, welche wir in der letzten Columnne der obigen Tabelle finden, giebt uns die heliocentrische Länge der Planeten zu irgend einem bestimmten Zeitpunkt: in obiger Tabelle ist unter der Ueberschrift „Epoche“ in der letzten Verticalreihe die heliocentrische Länge der Planeten für den 1. Januar 1855 angegeben.

Auf Tab. VIII. sind die Bahnen der unteren Planeten, der Erde und des Mars, auf Tab. IX. die der Erde und der oberen Planeten dargestellt und zwar ist auf jeder Bahn die Stelle bezeichnet, welche der Planet am 1. Januar 1855 einnahm. Ebenso findet man auf Tab. VIII. und Tab. IX. die Lage des aufsteigenden Knotens für jeden Planeten bezeichnet. Derjenige Theil der Planetenbahnen, welcher südlich von der Ekliptik liegt, also der Weg vom niedersteigenden Knoten bis zum aufsteigenden ist punktirt.

Um die erste Ungleichheit der Planetenbewegung zu erklären, musste auch Copernicus die Theorie des excentrischen Kreises in sein System aufnehmen, d. h. er musste annehmen, dass, wie wir bei S. 115 in Betreff der Erde gesehen haben, die Sonne mehr oder weniger ausserhalb des Mittelpunktes der Planetenbahnen liege.

Nach dem Copernicanischen System ist die siderische Umlaufzeit nichts Anderes als die wahre Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, d. h. die Zeit, welche er braucht, um einen Winkel von 360° um die Sonne herum zurückzulegen. Von dieser siderischen Umlaufszeit muss man die tropische und die synodische Umlaufszeit zu unterscheiden.

Die tropische Umlaufszeit ist die Zeit, welche zwischen zwei aufeinander folgenden Durchgängen des Planeten durch den Frühlingspunkt liegt. Wäre der Frühlingspunkt unveränderlich, wäre die tropische Umlaufszeit der siderischen gleich; wegen des Fortganges des Frühlingspunktes aber ist die tropische Umlaufszeit kürzer.

Die synodische Umlaufszeit ist, wie wir schon oben gesehen haben, die Zeit, welche zwischen zwei aufeinander folgenden g

igen Conjunctionen des Planeten mit der Sonne vergeht, oder auch Zeit von einer Opposition zur nächsten.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der siderischen, ischen und synodischen Umlaufszeit der bisher besprochenen Plan.

	U m l a u f s z e i t		
	siderische.	tropische.	synodische.
Mercur	87 ^t 23 ^h 16'	87 ^t 23 ^h 15'	115 ^t 21 ^h
Venus	224 16 49	224 16 41	583 22
Erde	365 6 9	365 5 19	
Mars	686 23 30	686 22 18	780 0
Jupiter	4332 14 2	4330 14 10	398 22
Saturn	10759 5 16	10746 22 30	378 2

Oder es ist nahezu für

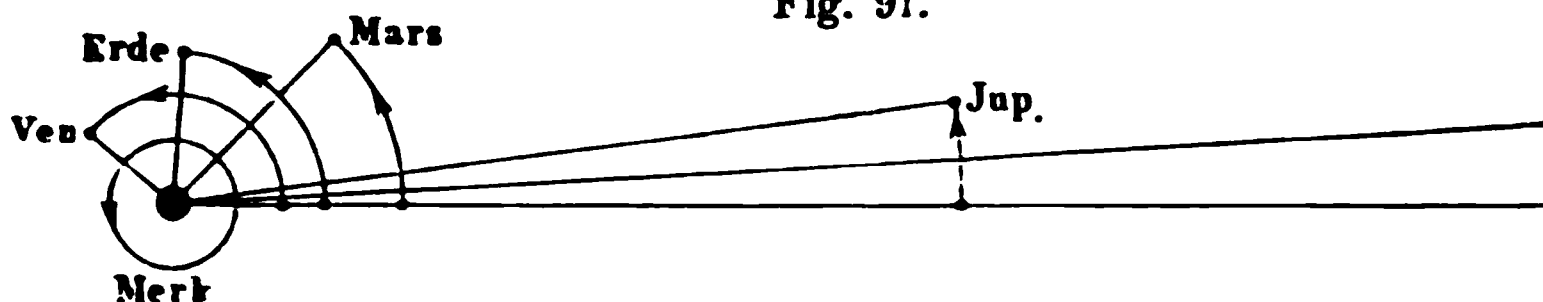
	die Umlaufszeit	
	siderische.	synodische.
Mercur	0,24 Jahr	0,31 Jahr
Venus	0,61 "	1,60 "
Mars	1,88 "	2,13 "
Jupiter	11,87 "	1,09 "
Saturn	29,47 "	1,03 "

Aus den oben angegebenen Werthen für die siderische Umlaufszeit Planeten ergibt sich, dass die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sich in ihren Bahnen um die Sonne bewegen, um so geringer ist, je weiter sie von der Sonne abstehen. Während Mercur einen ganzen siderischen Umlauf vollendet, hat der Winkel, welchen der Leitstrahl der Erde gegen Planeten in der gleichen Zeit zurücklegt, nahezu folgende Werthe:

Mercur 360°	Mars 46,1°
Venus 140,8	Jupiter 7,3
Erde 87,8	Saturn 2,9

Dies Verhältniss wird durch Fig. 91 anschaulich gemacht.

Fig. 91.



Aber nicht allein die Winkelgeschwindigkeit, sondern auch die solute Geschwindigkeit der Planeten in ihren Bahnen ist um so geringer je grösser ihr Abstand von der Sonne ist. Der Weg, welchen im Durchschnitt die einzelnen Planeten in ihren Bahnen fortschreitend in 1 cunde zurücklegen, ist für

Mercur	6,7 Meilen	Mars	3,4 Meilen
Venus	4,9 "	Jupiter	1,7 "
Erde	4,7 "	Saturn	1,3 "

54 Die Kepler'schen Gesetze. Obgleich das Copernicanische System die Grundlage für alle weiteren Entwicklungen der Astronomie bildet, so war durch dasselbe für die praktische Astronomie unmittelbar doch nicht viel gewonnen, denn die nach demselben vorausberechneten Planetenörter stimmten mit den beobachteten Bahnen kaum genau überein, als die nach den früheren Hypothesen berechneten Oerter. Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung ging weit über die Grösse der Beobachtungsfehler hinaus.

Kepler war Jahre lang bemüht, die Grundidee des Copernicanischen Systems adoptirend, dasselbe so zu modificiren, dass man die Bahnen der Planeten mit genügender Genauigkeit danach berechnen könnte. Blosser Veränderungen in den Elementen der Planetenbahnen führte nicht zum Ziele; die zahlreichen und genauen Beobachtungen des Planeten Mars, welche Tycho de Brahe hinterlassen hatte, liessen sich auf diese Weise nicht mit dem Copernicanischen System in Uebereinstimmung bringen.

Zunächst liessen sich die Tychonischen Beobachtungen nicht mit der Annahme in Uebereinstimmung bringen, dass die Planeten mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihren Bahnen fortschreiten, und durch sorgfältige und mühsame Combination des vorhandenen Beobachtungsmaterials gelangte endlich Kepler in Beziehung auf die Geschwindigkeit zu dem Gesetze, welches wir bereits oben S. 115 kennen gelassen haben und welches den Namen des ersten Kepler'schen Gesetzes führt. Dieses Gesetz gilt für alle anderen Planeten ebenso, wie für die Erde.

Das zweite Gesetz, welches Kepler aus den Tychonischen Beobachtungen ableitete, bezieht sich auf die Gestalt der Planetenbahnen. Auch dieses Gesetz ist bereits oben (S. 115) erwähnt worden. Nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze bewegen sich die Plane-

Ellipsen und die Sonne steht in dem einen Brennpunkte derselben.

Die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte der Ellipse wird, wie bereits S. 115 erwähnt wurde, die Excentricität genannt.

Die Gestalt der Ellipse ist bestimmt, wenn man ihre halbe grosse Axe (die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne) und ihre Excentricität kennt; um die Lage der Bahn im Raume zu kennen, muss man noch die Neigung der Bahn, die Länge des Periheliums und die Länge des aufsteigenden Knotens kennen. Zum Theil sind diese Elemente für die Erde und die mit blosssem Auge sichtbaren Planeten schon in der Tabelle auf S. 140 mitgetheilt worden, die übrigen folgen hier:

	Excentricität.	Länge des Periheliums.
Mercur	0,206	74° 57,5'
Venus	0,007	124 14,4
Erde	0,017	100 11,5
Mars	0,093	333 6,6
Jupiter	0,048	11 45,5
Saturn	0,056	89 54,7

Die Excentricität ist hier in Theilen der halben grossen Axe ausgedrückt. Man sieht, dass sie für den Mercur und den Mars am bedeutendsten ist.

Bezeichnen wir die halbe grosse Axe der Mercursbahn mit 1, so ist die Excentricität nach obiger Tabelle 0,206, und daraus folgt dann, dass die halbe kleine Axe der Mercursbahn 0,978 ist. Bei der Kleinheit des Maassstabes, in welchem die Tab. VIII. ausgeführt ist, kann also die Differenz der grossen und kleinen Axe der Mercursbahn ganz unberücksichtigt bleiben; die Mercursbahn ist deshalb gleich den Bahnen der anderen Planeten auf Tab. VIII. und IX., deren Excentricität noch geringer ist, als vollständiger Kreis gezogen. Jedoch liegt die Sonne, wie man sieht, nicht im Mittelpunkte dieser Kreise, sondern sie steht von demselben so weit ab, wie es nach dem Werthe der Excentricität der obigen Tabelle sein muss.

Nur für die Erd- und Venusbahn ist die Excentricität so gering, dass bei dem Maassstab der beiden Tafeln VIII. und IX. die Sonne mit dem Mittelpunkte der Kreise zusammenfällt.

In Tab. VIII. und IX. ist die Stelle der Sonnennähe jedes einzelnen Planeten durch einen von der Sonne ausgehenden Pfeil bezeichnet.

Das dritte Kepler'sche Gesetz bezieht sich auf das Verhält-

niss, welches zwischen der Umlaufszeit der Planeten und ihrer mittleren Entfernung von der Sonne besteht. Es heisst:

Die Quadrate der Umlaufszeiten verschiedener Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Bezeichnen wir mit T und R die Umlaufszeit und die mittlere Entfernung eines Planeten von der Sonne, mit t und r die entsprechende Grössen für einen anderen Planeten, so ist dem dritten Kepler'schen Gesetze zufolge

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{t^2}{r^3},$$

oder in Worten, der Quotient, welchen man erhält, wenn man das Quadrat der Umlaufszeit eines Planeten durch die dritte Potenz seiner mittleren Entfernung von der Sonne dividirt, ist eine constante Grösse.

Drückt man die Umlaufszeit eines Planeten in Tagen aus, wählt man die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne als Längeneinheit nimmt, so ergiebt sich jener Quotient gleich 133 407, wovon man leicht mit Hülfe der in der Tabelle auf S. 140 mitgetheilten Zahlen überzeugen kann.

Die absolute Entfernung der verschiedenen Planeten von der Sonne kannte Kepler zwar noch nicht; zur Aufstellung des dritten Gesetzes war aber auch die Kenntniss dieser absoluten Entfernung gar nicht nöthig, es genügte zu wissen, wie sich die Abstände der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn verhalten, wie denn ja auch in der Tabelle auf S. 140 der Halbmesser der Erdbahn als Längeneinheit genommen ist, mit welcher die Abstände der übrigen Planeten von der Sonne gemessen sind.

Gehen wir jetzt zu der Betrachtung der einzelnen Planeten über.

55 Mercur. Mercur steht der Sonne stets so nahe, dass er nicht voll der Nacht, sondern nur in der Morgen- oder Abenddämmerung gesehen werden kann. Der grösste Winkelabstand, bis zu welchem er möglicherweise von der Sonne entfernen kann, beträgt $27^\circ 42'$. Er ist deshalb nicht leicht beobachtet werden, namentlich in höheren Breiten, wo die Dämmerung länger dauert. Durch das Fernrohr betrachtet, sieht man den Mercur Phasen, welche denjenigen ganz ähnlich sind, die man bei der Venus beobachtet und die im nächsten Paragraphen ausführlicher besprochen werden sollen.

Wenn die untere Conjunction des Mercur zu einer Zeit stattfindet, wo dieser Planet sich ganz in der Nähe eines der Knotenpunkte seiner Bahn befindet, so sieht man ihn als einen scharfen schwarzen Punkt vor der Sonnenscheibe vorüberziehen. Solche Durchgänge des Mercur finden durchschnittlich 13 in einem Jahrhundert stattfinden, sind jedoch mit blossen Auge nicht wahrnehmbar; es bedarf dazu eines Fernrohrs.

Kepler kündigte zuerst einen solchen Durchgang für das Jahr 1631 an und Gassendi beobachtete denselben zu Paris am 6. November des genannten Jahres. Im Reste des gegenwärtigen Jahrhunderts werden solche Vorübergänge des Mercur vor der Sonnenscheibe noch an folgenden Tagen stattfinden:

Am 6. Mai	1878,
„ 7. November	1881*,
„ 9. Mai	1891*,
„ 10. November	1894.

Die beiden mit * bezeichneten Durchgänge sind in Deutschland unsichtbar.

Solche Durchgänge sind sehr geeignet, um den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seiner unteren Conjunction zu messen.

Die kleinste Entfernung des Mercur von der Sonne beträgt ungefähr 6 Millionen, die grösste 10 Millionen, die mittlere 8 Millionen Meilen.

Die grösste Entfernung, bis zu welcher möglicherweise Mercur sich von der Erde entfernen kann, beträgt 30 Millionen, die kleinstmögliche aber 11 Millionen Meilen.

Bessel bestimmte am Königsberger Heliometer den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seines Vorüberganges vor der Sonnenscheibe, also zur Zeit, wo er der Erde am nächsten steht, zu $10,5''$, wonach sich der wahre Durchmesser gleich 644 geographischen Meilen ergibt; nach anderen Bestimmungen ist derselbe gleich 670 Meilen.

Bei dem Mercursdurchgang vom 5. November 1868 wurde der scheinbare Durchmesser dieses Planeten von verschiedenen Beobachtern bestimmt. Den kleinsten Werth, $7,8''$, fand Stephan in Marseille (wahrscheinlich wegen der Irradiation zu klein), den grössten, $9,48''$, fand Wolf in Paris.

Venus. Unter allen Planeten kommt keiner der Erde so nahe als die Venus, welche sich auch durch ihr blendend weisses intensives Licht vor allen übrigen auszeichnet.

Da die grösste Elongation der Venus 45 bis 48° beträgt, so kann dieser Planet schon drei Stunden vor Sonnenaufgang oder noch drei Stunden nach Sonnenuntergang am Himmel sichtbar sein; er kann also bei voller Nacht beobachtet werden.

Die Phasenerscheinungen, welche die Venus darbietet, sind im Wesentlichen dieselben, wie die bereits beim Mercur erwähnten; weil sie aber bei der Venus viel leichter wahrnehmbar sind, so sollen dieselben hier auch ausführlicher besprochen werden.

• Nach der oberen Conjunction entfernt sich die Venus rasch von der Sonne, und zwar nach Osten hin, so dass ihr Untergang nach dem

Untergang der Sonne stattfindet, der Planet also in den Abendstunden sichtbar wird, weshalb er zu dieser Zeit den Namen Abendstern führt.

Indem sich Venus östlich von der Sonne entfernt, nimmt ihr Glanz sowohl wie ihr scheinbarer Durchmesser zu. Wenn man sie durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet man eine Abnahme der Lichtgestalt auf der der Sonne abgewendeten Seite, wenn die Venus sich ihrer grössten Elongation nähert; hat sie aber ihre grösste östliche Entfernung von der Sonne erreicht, so erscheint sie nur noch halb erleuchtet, sie erscheint uns wie der Mond im ersten Viertel.

Fig. 2 Tab. 3 dient dazu, sowohl die scheinbare Bewegung der Venus in Beziehung auf die Sonne als auch den Wechsel der Lichtgestalten anschaulich zu machen; sie stellt nämlich die scheinbare Bewegung der Venus um die Sonne im Jahre 1847 dar. Am 1. Januar 1847 stand die Venus ungefähr 4° östlich von der Sonne; am 29. März ging sie, 24° von der Sonne entfernt, durch den aufsteigenden Knoten. Den grössten östlichen Abstand von $45\frac{3}{4}$ Grad erreichte sie am 21. Juli, nahe um dieselbe Zeit, in welcher sie den niedersteigenden Knoten passirte. Um diese Zeit der grössten Elongation erscheint die Venus halb beleuchtet.

Wegen des starken Glanzes der Venus ist die Abnahme ihrer Lichtgestalt auf der Ostseite erst deutlich wahrzunehmen, wenn dieselbe schon weit vorgeschritten ist.

Nachdem die grösste Elongation erreicht worden ist, nähert sich die Venus anfangs langsam, dann aber sehr rasch der Sonne wieder, wobei ihr scheinbarer Durchmesser bedeutend wächst, während die Lichtgestalt auf der Ostseite mehr und mehr abnimmt. Kurz vor der unteren Conjunction erscheint uns die Venus, durch ein Fernrohr gesehen, nur noch als schmale Sichel, worauf sie dann in den Strahlen der Sonne verschwindet, um nach kurzer Zeit auf der Westseite derselben wieder zu erscheinen. Venus geht nun vor der Sonne auf, sie ist Morgenstern.

Nach der unteren Conjunction nimmt die Lichtgestalt der Venus allmählig wieder zu, bis sie die grösste westliche Elongation erreicht hat, wo sie wieder die Gestalt eines Halbmondes zeigt.

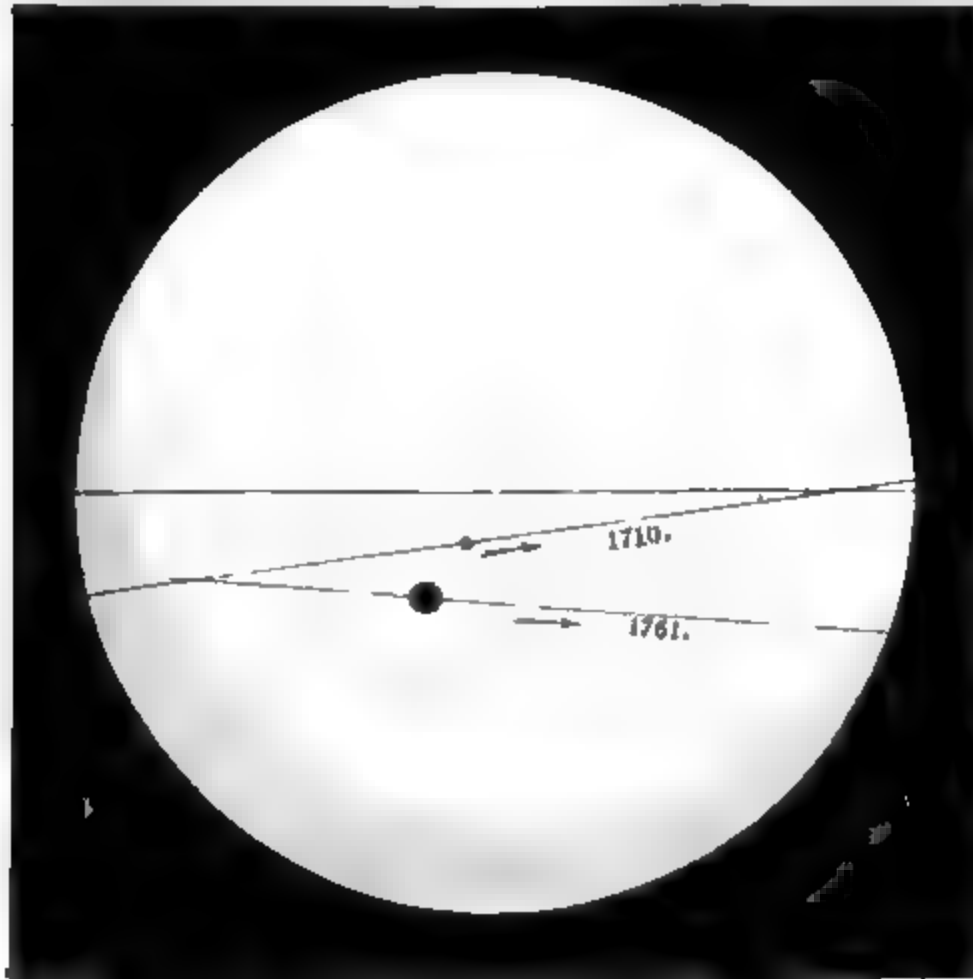
Zur Zeit der unteren Conjunction hatte die Venus im Jahre 1847 eine über 8 Grad betragende südliche Declination, sie ging also unterhalb der Sonne vorüber; zu anderen Zeiten geht sie in gleicher Weise über der Sonne vorüber.

Wenn die untere Conjunction der Venus und der Sonne zu einer Zeit stattfindet, wo die nördliche oder südliche Declination der Venus Null oder doch sehr gering ist, zur Zeit also, wo die Venus den aufsteigenden oder niedersteigenden Knoten passirt, so sieht man die Venus durch Fernröhre als einen völlig schwarzen, scharf begränzten runden Fleck von mehr als $1'$ Durchmesser vor der Sonnenscheibe vorbeigehen.

92 stellt den Venusdurchgang von 1761 und den Mercursdurchgang 1710 dar.

Nach dem eben Gesagten kann ein Venusdurchgang nur zu einer stattfinden, wo sich die Erde ganz in der Nähe von einem der

Fig. 92.



kte *f* oder *g*, Tab. VII., befindet, in welchen die Knotenlinie *AB* der Bahn die Erdbahn schneidet. In *f* befindet sich die Erde am 5., in *g* aber am 7. December.

Es kann demnach ein Venusdurchgang nur stattfinden, wenn eine Conjunction der Venus an einem der Tage vom 2. bis 8. Juni vom 4. bis 10. December eintritt.

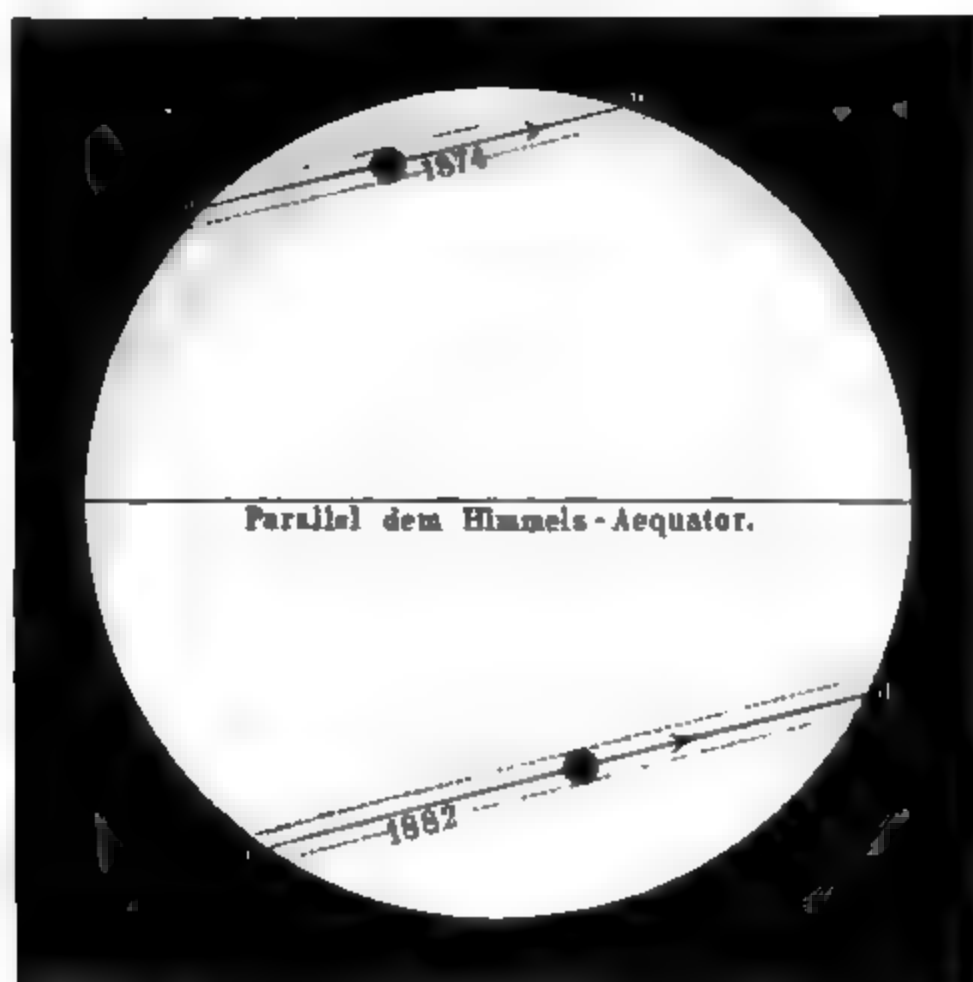
Der erste Venusdurchgang, welcher beobachtet wurde, fand am 6. December 1639 Statt. Danach ereigneten sich zwei Durchgänge am 6. Juni 1761 und am 3. Juni 1769. Die nächsten vier Durchgänge werden stattfinden:

Am 8. December 1874,
„ 6. December 1882,
„ 7. Juni 2004,
„ 5. Juni 2012.

In Fig. 93 stellt *ab* den Weg dar, welchen am 8. December 1874 der Mittelpunkt der Venus vom Mittelpunkt der Erde aus gesehen auf der Sonnenscheibe zurücklegen wird. Die gleiche Bedeutung hat die

Linie cd für den Venusdurchgang von 1882. Der Venusdurchgang von 1874 ist für Europa nicht sichtbar, weil er zu einer Zeit stattfindet (un-

Fig. 93.



gefähr von 2 Uhr Nachts bis 6 Uhr Morgens), in welcher die Sonne für diesen Welttheil nicht über dem Horizont steht. Der Durchgang von 6. December 1882 dagegen findet für Europa in den Nachmittagsstunden (ungefähr von 2 Uhr Nachmittags an) Statt.

Es ist bereits oben S. 119 angeführt worden, dass die Beobachtung der Venusdurchgänge von grosser Wichtigkeit für die Bestimmung der Sonnenparallaxe ist; wir wollen nun sehen, worin das Wesentliche dieser Bestimmungsmethode besteht.

Es sei T , Fig. 94, die Erde, S die Sonne und zwischen beiden stehe die Venus in v . Von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen erscheint natürlich die Venus auf verschiedene Stellen der Sonnenscheibe projectirt, z. B. von a aus gesehen in d , von b aus gesehen in c . ef ist der Weg, welchen die Venus, von b aus gesehen, auf der Sonnenscheibe zurücklegt, gh ist der dem Beobachtungspunkte a entsprechende Weg.

Der Abstand cd der beiden Linien ef und gh verhält sich zu cd Fig. 94, wie dv zu av oder wie die Entfernung der Venus von der Sonne zu der Entfernung der Venus von der Erde.

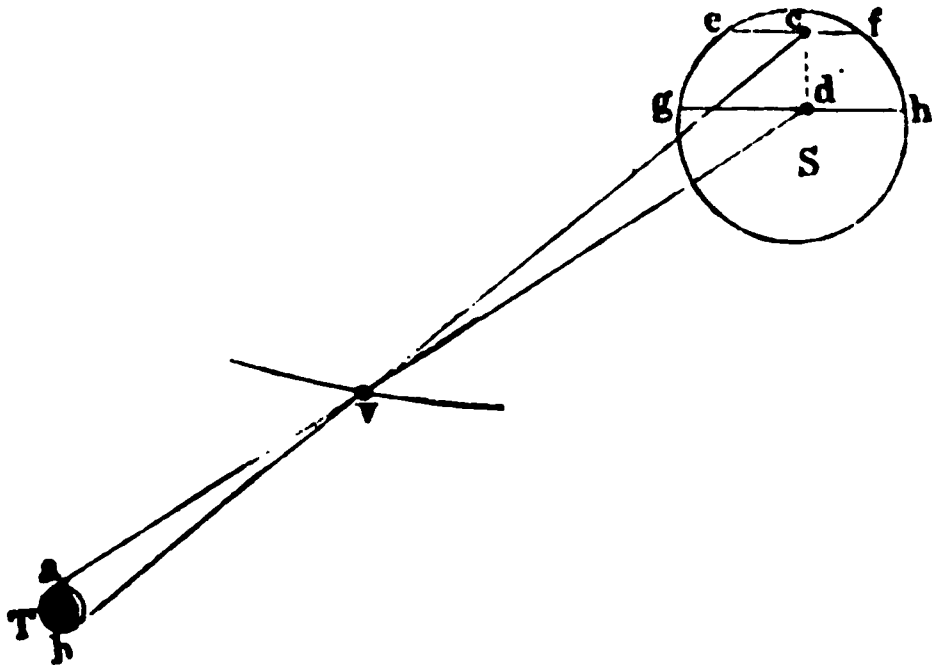
Bezeichnet man den Abstand der Erde von der Sonne mit 1, so ist der Abstand der Venus von der Sonne 0,723, also der Abstand der Ve-

aus von der Erde zur Zeit der unteren Conjunction 0,277; wir haben also:

$$ab : cd = 0,277 : 0,723, \text{ und daraus ergibt sich:} \\ cd = 2,6 ab.$$

Der Abstand der beiden Linien ef und gh , in welchen, von a und b aus gesehen, die Venus vor der Sonnenscheibe hergeht, erscheint also

Fig. 94.



von der Erde aus gesehen 2,6mal so gross als der Abstand ab der beiden Beobachtungspunkte auf der Erde von der Sonne aus gesehen.

Es kommt also nun zunächst darauf an, den Abstand cd zu ermitteln. Dieser ergibt sich aber, wenn man in a sowohl wie in b die Zeitdauer beobachtet, während welcher die Venus vor der Sonnenscheibe vorbeizieht; aus der Zeit nämlich, welche der Planet braucht, um von a aus gesehen die Sehne gh und von b aus gesehen die Sehne ef zu durchlaufen, kann man auf die Länge dieser Sehnen, und da der scheinbare Durchmesser der Sonne bekannt ist, auf ihre Lage auf der Sonnenscheibe schliessen, woraus sich alsdann auch der von der Erde aus gesehene Winkelabstand der beiden Sehnen ergibt.

Nun aber ist ab 2,6mal kleiner als cd und somit ergibt sich also auch aus diesen Beobachtungen, unter welchem Winkel, von der Sonne aus gesehen, die Sehne ab erscheint, woraus sich dann leicht die Horizontalparallaxe der Sonne, d. h. der Winkel ergibt, unter welchem der Radius der Erde, von der Sonne aus gesehen, erscheint.

Am 3. Juni 1769 wurde der Venusdurchgang an vielen Orten der Erde beobachtet. Besonders günstig zur Berechnung der Sonnenparallaxe waren die Beobachtungsorte Cajanaburg in Finnland ($64^{\circ} 13'$ nördl. Br.) und O-Taiti in der Südsee (17° südl. Br.). Am ersteren Orte betrug die Dauer des Durchganges $6^h 11' 40''$, am letzteren $5^h 48' 4''$, woraus sich der schon oben erwähnte Werth für die Horizontalparallaxe der Sonne, nämlich 8,6 Secunden ergibt.

Die punktierten Linien über ab und cd in Fig. 94 bezeichnen den Weg, welchen der Mittelpunkt der Venus am 8. December 1874 und am

6. December 1882 auf der Sonnenscheibe zurücklegen würde, wenn man den Durchgang vom Südpol der Erde aus beobachten könnte. Die punktirten Linien unter *ab* und *cd* haben die gleiche Bedeutung für den Fall, dass der Durchgang der Venus auf dem Nordpol der Erde beobachtet würde.

Die Berechnung der Sonnenparallaxe nach obiger Methode wird dadurch etwas verwickelter, dass die Durchgangszeiten durch die Ortsveränderung modificirt werden, welche die Beobachtungsorte in Folge der Axendrehung und der fortschreitenden Bewegung der Erde erleiden. Hier, wo es sich nur darum handelt, die Grundidee der Methode verständlich zu machen, können wir aber nicht näher auf diese Details eingehen.

Der Lichtglanz der Venus ist so lebhaft, dass die sorgfältigsten Beobachtungen in Beziehung auf die physische Natur ihrer Oberfläche noch zu keinem Resultate führten. Manchmal erscheinen äusserst schwache, kaum wahrnehmbare Flecken, aus deren Bewegung man geschlossen hat, dass die Venus sich in 23 Stunden 21 Minuten um ihre Axe dreht. Fast dasselbe Resultat in Betreff der Axendrehung liefert auch die Beobachtung gewisser in regelmässigen Perioden wiederkehrender kleiner Veränderungen in der Gestalt der Hörner der Venussichel.

Das blendende Licht der Venussichel verliert sich allmählig gegen die Nachtseite der Venus hin; es findet hier keine scharfe Gränze zwischen Licht und Dunkel Statt, wie beim Mond, und daraus hat man geschlossen, dass auf der Venus wie auf der Erde vor dem Aufgange und nach dem Untergange der Sonne eine Dämmerung stattfinde, dass also die Venus von einer Atmosphäre umgeben sei.

Nach den Beobachtungen von Schröter sollen einzelne Venusberge fünf- bis sechsmal so hoch sein als die höchsten Gebirge der Erde.

Unter allen Planetenbahnen hat die Bahn der Venus die geringste Excentricität. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 15 Millionen, der Unterschied zwischen ihrem grössten und ihrem kleinsten Abstände von der Sonne beträgt nur 200 000 Meilen.

Die Venus kann sich der Erde bis auf $5\frac{1}{4}$ Millionen Meilen nähern und sich bis auf 36 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Der scheinbare Durchmesser der Venus beträgt zur Zeit ihrer unteren Conjunction ungefähr $62''$.

Der wahre Durchmesser der Venus beträgt 1717 Meilen; sie ist also fast eben so gross wie die Erde.

57 Die nächsten Erscheinungen der Venus. Am 7. December 1870 kommt Venus in obere Conjunction mit der Sonne, von welcher sie sich nun langsam nach Osten hin entfernt, so dass sie im Frühjahr 1871 als Abendstern sichtbar wird. Ihre grösste östliche Abweichung erreicht sie am 18. Juli 1871, wo sie um $9^h 50^m$ untergeht. Nun nähert sie sich der Sonne wieder und zwar anfangs langsam, dann

ber, nachdem sie am 19. August ihren grössten Glanz erreicht hat, sehr rasch, so dass sie schon am 26. September mit der Sonne in unsere Conjunction kommt. Nachdem Venus kurze Zeit vor und nach der unteren Conjunction unsichtbar geblieben war, erscheint sie wieder als Morgenstern, erreicht als solcher ihren grössten Glanz am 5. November 1871 und ihre grösste westliche Abweichung am 6. December 1871.

Die nun folgende Erscheinungsperiode der Venus lässt sich nach folgenden Daten übersehen:

- | | |
|--|--------------------|
| ♀ obere ☿ ☉ 15. Juli 1872, | |
| ♀ wird als Abendstern sichtbar im Spätherbst 1872, | |
| ♀ grösste östl. Abw. 22. Februar 1873 | } als Abendstern, |
| ♀ grösster Glanz 30. März 1873 | |
| ♀ untere Conjunction 5. Mai 1873, | |
| ♀ grösster Glanz 10. Juni 1873 | } als Morgenstern. |
| ♀ grösste westliche Abweichung 14. Juli 1873 | |

Mars. Die Bahn dieses Planeten ist sehr excentrisch; seine grösste Entfernung von der Sonne ist 1,66, seine kleinste aber 1,38mal so gross als der mittlere Abstand der Erde von der Sonne. Der mittlere Abstand des Mars von der Sonne beträgt 32 Millionen Meilen. Der Erde kann sich dieser Planet bis auf $7\frac{3}{4}$ Millionen Meilen nähern und sich bis auf 55 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Als oberer Planet kann der Mars nie zwischen Erde und Sonne zu sehen kommen, also nie einen vollständigen Phasenwechsel zeigen wie Venus und Mercur. Zur Zeit der Conjunction und der Opposition erscheint er als volle kreisförmige Scheibe, die aber bis zur Quadratur auf der von der Sonne abgewendeten Seite abnimmt, so dass um diese Zeit die Marscheibe ungefähr so erscheint wie der Mond vier Tage vor oder nach dem Vollmonde.

Mit blossem Auge gesehen zeigt Mars ein entschieden rothes Licht. Mit dem Fernrohr betrachtet zeigt er Flecken, aus deren Bewegung man folgert hat, dass dieser Planet seine Axendrehung in 24 Stunden 37 Minuten vollendet. An den Polen erscheint er schwach abgeplattet. Nach Arago's Messungen beträgt diese Abplattung $\frac{1}{39}$.

An den Polen des Mars zeigen sich zwei sehr deutliche weisse Flecken, wie man Fig. 3 auf Tab. X. sieht, welche den Anblick des Mars durch stark vergrössernde Fernrohre zeigt. Diese Flecken nehmen abwechselnd an Grösse ab und zu. Es ist wahrscheinlich, dass dieselben von grossen Schnee- und Eismassen herrühren, welche sich während des Winters an den Polen anhäufen und dann während des Sommers wieder schmelzen. Aus der Beobachtung dieser Flecken hat man geschlossen, dass der Aequator des Mars einen Winkel von $28^{\circ} 42'$ mit seiner Bahn macht: es findet also auf diesem Planeten ein Wechsel der Jahreszeiten in ähnlicher Weise Statt wie auf der Erde.

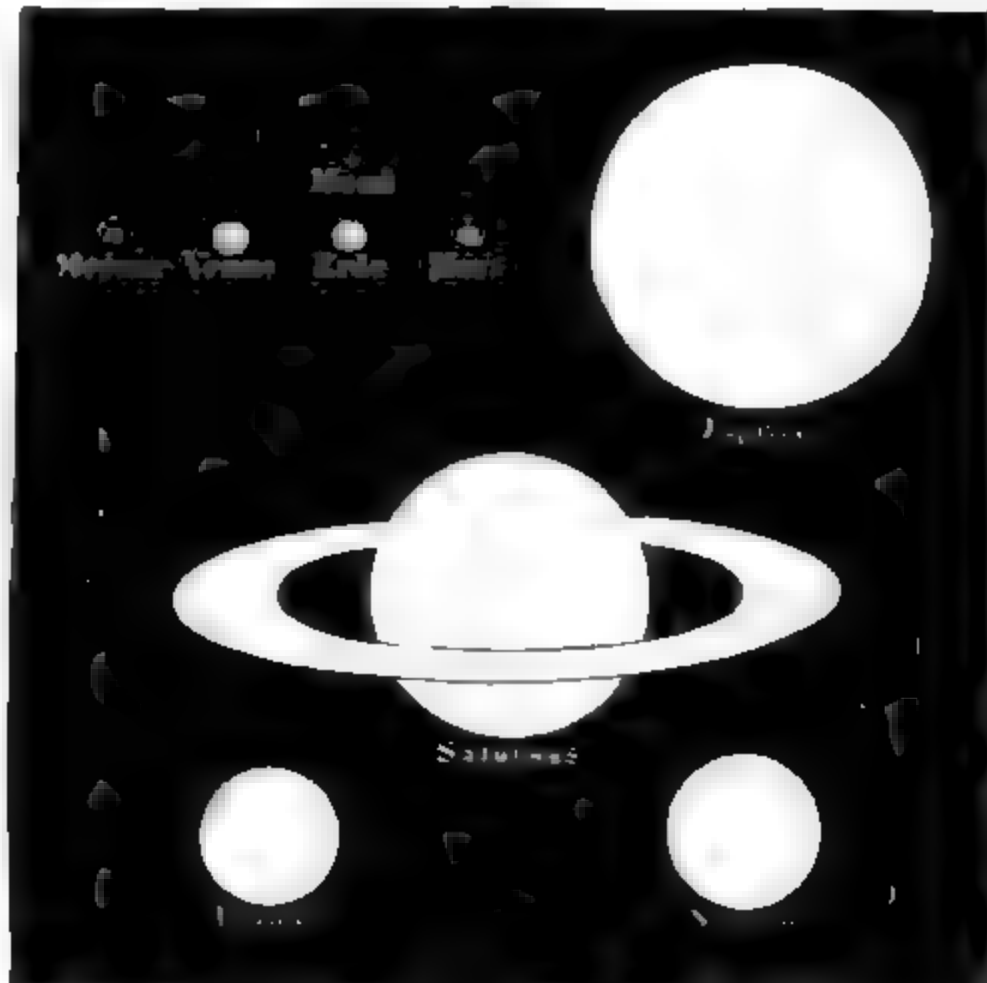
Zur Zeit der Opposition erscheint der Durchmesser des Mars in einem Winkel von 22 bis 24 Secunden, während der wahre Durchmesser dieses Planeten 884 oder nach neueren Bestimmungen 918 Meilen trägt.

39 Jupiter. Die Entfernung des Jupiter von der Sonne variiert zwischen $102\frac{1}{2}$ und zwischen $112\frac{1}{2}$ Millionen Meilen. Der Erde nähert er sich bis auf 82 Millionen und entfernt sich von ihr bis auf 133 Millionen Meilen.

Der scheinbare Durchmesser des Jupiter ist 49 Secunden Zeit der Opposition, aber nur $30''$ zur Zeit der Conjunction.

Jupiter ist sehr stark abgeplattet; der Polardurchmesser ist ungleich kleiner als der Aequatordurchmesser, welcher 20000 Meilen beträgt, also ungefähr 11mal grösser ist als der Durchmesser der Erde.

Fig. 95.



Jupiter ist unter allen Planeten der grösste; sein Grössenverhältniss zur Sonne ist bereits durch Fig. 79 auf Seite 120 anschaulich gemacht worden; in gleicher Weise dient Fig. 95 dazu, das Grössenverhältniss des Jupiter zu den übrigen Planeten zu veranschaulichen. Man sieht aus dieser Figur, dass der Grösse nach auf den Jupiter der Saturn und dann Neptun und Uranus folgen. Venus und Erde sind nahe gleich gross, Mars ist weit kleiner, Mercur kaum grösser als unser Mond.

Mit guten Fernrohren beobachtet man auf der Jupiterscheibe parallele dunklere Streifen, deren Gestalt und Lage ziemlich veränderlich ist. Gewöhnlich sind zwei solcher Streifen gegen die Mitte der Scheibe hin besonders deutlich. Ausserdem beobachtet man oft noch Flecken, welche nach einiger Zeit wieder verschwinden. Fig. 1 und Fig. 2 auf Tab. X. zeigen das Ansehen des Jupiter, wie derselbe von Mädler und Beer am 2. Januar 1835 und am 4. Januar 1836 beobachtet wurde. Die schwärzlichen Flecken, die man in der einen Jupitersfigur auf Tab. X. merkt, waren vom 4. November 1834 bis zum 18. April 1835 sichtbar, während der Streifen, auf welchem sie sich befinden, im Laufe des Februar verschwand.

Aus der Beobachtung solcher Flecken ergibt sich, dass sich Jupiter mit grosser Geschwindigkeit um seine Axe dreht, und zwar vollendet er seine Axendrehung in 9 Stunden 55 Minuten. Die oben bezeichneten Streifen sind dem Aequator des Jupiter parallel, welcher nur einen Winkel von 3° mit der Ebene der Jupitersbahn macht, woraus sich ergibt, dass der Wechsel der Jahreszeiten auf diesem Planeten kaum merklich sein kann.

Die bedeutende Abplattung des Jupiter ist eine Folge seiner raschen Axendrehung.

Jupiter wird von vier Trabanten umkreist deren nähere Betrachtung weiter unten folgt.

Die nächsten Sichtbarkeitsperioden des Jupiter. Im August 1870 geht Jupiter um Mitternacht auf. Von da an rückt die Aufgangszeit dieses Planeten erst auf die späteren, dann auf die früheren Abendstunden vor und er bleibt dann in den früheren Abendstunden bis in den Mai 1871 sichtbar.

Am 18. September 1870 kommt $4 \square \odot$, er culminirt zu dieser Zeit um 6 Uhr Morgens und geht ungefähr um 10 Uhr Abends auf. Am 13. December 1870 kommt Jupiter in Opposition mit der Sonne ($7 \oslash \odot$) und geht jetzt schon 15 Minuten vor 4 Uhr Nachmittags auf und culminirt um Mitternacht.

Am 8. März 1871 kommt Jupiter abermals in Quadratur mit der Sonne und zwar so, dass er 6 Stunden nach der Sonne (um 6 Uhr Abends) culminirt. Sein Untergang findet um diese Zeit um 2 Uhr Nachts Statt. Gegen Ende April geht Jupiter um Mitternacht zu Anfang Juni um 10 Uhr Abends unter, um sich alsbald in den Strahlen der Sonne zu verlieren.

Jupiter (wie überhaupt alle oberen Planeten) ist überhaupt in den Abendstunden sichtbar in der Zeit zwischen der Quadratur vor und der Quadratur nach der Opposition.

Betrachten wir nun den Weg, welchen Jupiter in dieser Zeit am stürzten Himmel durchläuft. In der Mitte des August 1870 steht 4 ungefähr südlich von β des Stiers und etwas nördlich von der Ekliptik,

also in der Nähe des Punktes, welcher auf der Sternkarte Tab. IV. a Stand der Sonne am 10. Juni bezeichnet ist. Bis zur Mitte des Octobers rückt er nach Osten bis in die Nähe der Stelle vor, welche die Sonne am 18. Juni einnahm und wird hier stationär, er beginnt also seine rückläufige Bewegung. Zur Zeit seiner Opposition (gegen die Mitte d. December) steht ζ ganz nahe der Stelle, welche er in der Mitte August einnahm; er setzt seine rückläufige Bewegung fort bis zum 9. Februar 1871, wo er wieder stationär und dann rechtläufig wird. Der Weg den ζ vom 13. December 1870 bis zum 9. Februar 1871 rückläufig also von Ost nach West fortschreitend zurücklegt, beträgt ungefähr 1° (22 Vollmondbreiten), er erreicht also am 9. Februar 1871 beinahe die Verbindungslinie der Sterne α und β tauri. Wieder rechtläufig geworden erreicht ζ in den ersten Tagen des Mai 1871 ohngefähr die Stelle, welche er beim Beginn seiner Rückläufigkeit eingenommen hatte.

Nachdem nun Jupiter meist unsichtbar in rechtläufiger Richtung einen ziemlich grossen Weg (ungefähr 30") zurückgelegt hat, erscheint er von der Mitte September 1871 an, wo er um Mitternacht aufsteht wieder in den späteren Abendstunden und er steht jetzt an der Gränze der Sternbilder der Zwillinge und des Krebses. Es kommt nun

- ζ \square \odot am 22. October 1871,
- ζ wird stationär und alsdann rückläufig am 16. November 1871,
- ζ \oslash \odot am 15. Jannar 1872,
- ζ wird stationär und dann rechtläufig am 15. März 1872,
- ζ \square \odot am 10. April 1872.

Die Schleife, welche Jupiter bei dieser Oppositionsperiode bildet, fällt zum Theil in das Sternbild des Krebses, zum Theil in das Sternbild der Zwillinge.

Für die nun folgende Oppositionsperiode haben wir folgende Daten:

- ζ \square \odot am 22. November 1872,
- ζ wird stationär und rückläufig am 17. December 1872,
- ζ \oslash \odot am 14. Februar 1873,
- ζ wird stationär und rechtläufig am 17. April 1873,
- ζ \square \odot am 12. Mai 1873.

Jupiter ist also wieder in den Abendstunden sichtbar vom November 1872 bis Ende Mai 1873.

Der ungefähr 11° lange Weg, den Jupiter in rückläufiger Richtung zurücklegt, liegt diesmal im grossen Löwen und zwar ohngefähr zwischen δ und ϵ , westlich von Regulus (α leonis), er geht also einmal sichtbar nahe bei α leonis vorbei und zwar kommt

- ζ \oslash α leonis am 6. November 1872 (rechtläufig),
- ζ \oslash α leonis am 18. Januar 1873 (rückläufig).

Saturn. Der grösste Abstand dieses Planeten von der Sonne beträgt $208\frac{1}{4}$, sein kleinster $186\frac{1}{4}$ Millionen Meilen. Seine Entfernung der Erde wechselt zwischen $165\frac{1}{2}$ und 229 Millionen Meilen.

Der scheinbare Durchmesser der Saturnskugel variirt zwischen (Opposition) und $15''$ (Conjunction), der wahre Durchmesser des Saturn aber beträgt 16 305 Meilen. Er ist also ungefähr 9mal so gross als der Durchmesser der Erde.

Die siderische Umlaufzeit des Saturn beträgt 29 Jahre 166 Tage 5 Stunden.

Seine Abplattung beträgt etwas weniger als $\frac{1}{10}$ des Aequatordurchmessers.

Saturn zeigt ähnliche Streifen wie der Jupiter, nur sind sie nicht so deutlich. Aus der Beobachtung einzelner Flecken hat man geschlossen, dass die Umdrehung um die Axe in $10^h 29'$ vollendet wird. Die Neigung des Saturnsäquators macht einen Winkel von $28^\circ 40'$ mit seiner Umdrehungsaxe.

Vor allen anderen Planeten ist Saturn durch einen Ring ausgezeichnet, welcher in der Ebene des Saturnsäquators freischwebend den Planeten umgiebt. Fig. 4 auf Tab. X. stellt den Saturn mit seinem Ring dar, wie ihn sehr gute und stark vergrössernde Fernrohre zeigen. Der Ring ist ziemlich breit und dabei sehr dünn.

Die grosse Axe des Saturnsrings erscheint uns zur Zeit der Opposition ungefähr unter einem Winkel von 47 Secunden.

Mit blossen Auge ist diese merkwürdige Erscheinung nicht wahrnehmbar, und die ersten Astronomen, welche den Saturn durch Fernrohre beobachteten, konnten über das wahre Wesen derselben noch nicht ins Reine kommen.

Fig. 96.



Fig. 96 stellt die Abbildung dar, welche Galiläi vom Saturn gab und der ihn *tergeminum* oder *tricorporeum* nannte. Hevel stellte den Saturn als gleichsam mit zwei Henkeln versehen dar; erst Huyghens kam auf die richtige Vorstellung.

Der Anblick, welchen uns der Saturnsring darbietet, ist keineswegs derselbe; denn die Umdrehungsaxe des Saturn behält im Weltraume dieselbe Richtung, wie dies ja auch bei der Erdaxe der Fall ist, folglich wird die Ebene des Saturnsrings stets parallel mit sich selbst sich drehen, wie dies Fig. 97 (a. f. S.) dargestellt ist.

Wenn die heliocentrische Länge des Saturn ungefähr 344° ist, wenn also ungefähr in der Mitte des Zeichens der Fische sich befindet (Fig. 97), so liegt die Sonne in der verlängerten Ringebene; von der Sonne aus gesehen wird also der Ring des Saturn zur Linie verkürzt erscheinen. Bewegt sich nun der Planet in der Richtung des Pfeiles (Fig. 97), so wird man alsbald von der Sonne aus auf die Nordseite des Saturns sehen können; er erscheint zunächst als eine flache Ellipse, deren grosse Axe mehr und mehr wächst, bis sie endlich ihr Maximum erreicht.

- ♄ ♀ ☉ am 28. Juni,
 ♄ wird stationär und rechtläufig am 7. September,
 ♄ ☐ ☉ am 26. September.

Für das Jahr 1872:

- ♄ ☐ ☉ am 10. April,
 ♄ wird stationär und rückläufig am 29. April,
 ♄ ♀ ☉ am 9. Juli,
 ♄ wird stationär und rechtläufig am 17. September,
 ♄ ☐ ☉ am 7. October,
 ♄ ♀ am 10. December.

Für das Jahr 1873:

- ♄ ☐ ☉ am 22. April,
 ♄ wird stationär und rückläufig am 12. Mai,
 ♄ ♀ ☉ am 21. Juli,
 ♄ wird stationär und rechtläufig am 29. September,
 ♄ ☐ ☉ am 19. October.

Die Schleife der Saturnsbahn fällt für das Jahr 1871 und für das Jahr 1872 in das Sternbild des Schützen und zwar ist die Rectascension des Saturn am 28. Juni 1871 $18^{\text{h}} 28^{\text{m}} 38^{\text{s}}$ und am 9. Juli 1872 $17^{\text{h}} 50^{\text{s}}$. Für das Jahr 1873 fällt die Schleife der Saturnsbahn bereits in das Sternbild des Steinbocks.

Uranus. Wir haben bis jetzt nur diejenigen Planeten betrachtet, 63
 welche mit blossem Auge sichtbar sind. Selbst nachdem die Fernrohre
 gefunden waren, dauerte es noch geraume Zeit, bis sie zur Entdeckung
 neuer Planeten führten.

Am 13. März 1781 beobachtete Herschel im Bilde der Zwillinge
 einen Stern, der sich durch einen merklichen Durchmesser auszeichnete
 und schon am nächsten Abend eine kleine Ortsveränderung zeigte. Es
 sollte sich durch fortgesetzte Beobachtung dieses Sternes alsbald heraus-
 stellen, ob er ein Planet sei, welcher noch jenseits der Saturnsbahn um die
 Sonne kreist.

Nach Bode's Vorschlag wurde der neue Planet Uranus (♅) ge-
 nannt.

Uranus erscheint höchstens als ein Stern sechster Grösse, und nur
 durch ganz ausgezeichnete Fernrohre erscheint sein Durchmesser gross
 genug, um ihn von einem Fixsterne zu unterscheiden.

Die siderische Umlaufszeit des Uranus beträgt 84 Jahre 5 Tage 19
 Stunden 41,6 Minuten. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist
 1,18mal so gross als der Abstand der Erde von der Sonne oder 396^1 ,
 Millionen Meilen. Die Excentricität seiner Bahn ist 0,0466.

Die Neigung seiner Bahn ist nur $46,5'$; die Länge des aufsteigenden Knotens $72^\circ 59' 21''$; die Länge des Periheliums ist $167^\circ 30' 24''$.

In seiner Erdnähe ist sein scheinbarer Durchmesser $4,3''$ und daraus ergibt sich, dass sein wahrer Durchmesser gleich 7466 Meilen ist.

Zwei auf einander folgende Oppositionen des Uranus sind am Himmel nur um $4\frac{1}{2}$ Grad von einander entfernt.

Uranus ist gleichfalls von mehreren Trabanten umkreist, welche später näher betrachtet werden sollen.

64 Die kleinen Planeten. Wenn man die Abstände der älteren Planeten von der Sonne aufmerksam betrachtet, so findet man zwischen Mars und Jupiter eine auffallende Lücke. Bezeichnet man nämlich den Abstand des Mercur von der Sonne mit 4, so hat man für

Mercur . . .	4					
Venus . . .	7,5	also nahezu	$4 + 1 \times 3$			
Erde . . .	10,3	" "	$4 + 2 \times 3$			
Mars . . .	15,7	" "	$4 + 4 \times 3$			
Jupiter . .	53,7	" "	$4 + 16 \times 3$			
Saturn . . .	98,3	" "	$4 + 32 \times 3$			

In obiger Reihe der Factoren von 3 ist jeder folgende doppelt so gross als der vorhergehende, nur fehlt zwischen 4×3 (Mars) und 16×3 (Jupiter) das Glied 8×3 . Diese Lücke, welche schon Kepler auffiel, veranlasste unter den Astronomen die Hoffnung, zwischen Mars und Jupiter einen neuen Planeten aufzufinden. Namentlich war es Bode, welcher diese Ansicht vertrat.

Diese Hoffnung ist verwirklicht worden; aber statt eines einzigen Planeten, welchen man zwischen Mars und Jupiter vermuthete, sind ihrer bereits über 100 entdeckt worden, die man mit dem gemeinschaftlichen Namen der kleinen Planeten oder der Planetoiden bezeichnet.

Am 1. Januar 1801 erblickte Piazzi zu Palermo einen kleinen Stern im Sternbilde des Widders, der alsbald eine merkliche Ortsveränderung zeigte und den er zuerst für einen Kometen hielt, dessen planetarische Natur sich aber bald herausstellte; Piazzi legte dem neu entdeckten Planeten den Namen Ceres (ζ) bei.

Ceres unterscheidet sich im Ansehen nicht von einem teleskopischen Sterne siebenter bis neunter Grösse; ihr scheinbarer Durchmesser ist so gering, dass man ihn mit Sicherheit noch nicht bestimmen konnte.

Schon am 28. März 1802 entdeckte Olbers in Bremen einen zweiten zwischen Mars und Jupiter kreisenden Planeten, den er Pallas (ψ) nannte. Dieser Entdeckung folgte am 1. September 1804 die der Juno (\dagger) durch Harding in Lilienthal und die der Vesta (\square) am 29. März 1807 durch Olbers.

Für weitere Entdeckungen von Planeten sind zuverlässige Sternkarten, welche wenigstens die Thierkreiszone umfassen und auch wenigstens die grösseren der teleskopischen Sterne enthalten, von grosser Wichtig-

so entdeckte Henke in Driesen am 8. December 1845 durch Vergleich des Himmels mit den ausgezeichneten Sternkarten der Berliner die Asträa und am 1. Juli 1847 die Hebe. Hind in London deckte am 13. August 1847 die Iris und am 18. October desselben Jahres die Flora.

Wie in den Jahren 1845 und 1847 entdeckten Planeten kreisen 1801 bis 1804 entdeckten zwischen Mars und Jupiter. In dem Gürtel wurden aber später noch eine grosse Anzahl kleiner Planeten aufgefunden, so dass man deren jetzt schon 107 kennt, ihre Namen sind:

eres.	29. Amphitrite.	57. Mnemosyne.	85. Jo.
allas.	30. Urania.	58. Concordia.	86. Semele.
uno.	31. Euphrosyne.	59. Olympia.	87. Sylvia.
esta.	32. Pomona.	60. Danaë.	88. Thisbe.
sträa.	33. Polyhymnia.	61. Echo.	89.
ebe.	34. Circe.	62. Errato.	90. Antiope.
is.	35. Leucothea.	63. Ausonia.	91. Aegina.
lora.	36. Atalante.	64. Angelina.	92. Undina.
letis.	37. Fides.	65. Cybele.	93.
lygiea.	38. Leda.	66. Maja.	94.
arthenope.	39. Lätitia.	67. Asia.	95. Arethusa.
victoria.	40. Harmonia.	68. Leto.	96. Aegle.
geria.	41. Daphne.	69. Hesperia.	97. Clotho.
rene.	42. Isis.	70. Panopea.	98. Janthe.
unomia.	43. Ariadne.	71. Niobe.	99.
syche.	44. Nysa.	72. Feronia.	100. Hekate.
hetis.	45. Eugenia.	73. Clytia.	101. Helena.
elpomene.	46. Hestia.	74. Galatea.	102. Miriam.
ortuna.	47. Aglaja.	75. Eurydice.	103.
lassalia.	48. Doris.	76. Freia.	104.
utetia.	49. Pales.	77. Frigga.	105.
alliope.	50. Virginia.	78. Diana.	106.
halia.	51. Nemausa.	79. Eurynome.	107. Camilla.
hemis.	52. Europa.	80. Sappho.	
hocäa.	53. Calypso.	81. Terpsychore.	
roserpina.	54. Alexandra.	82. Alcmene.	
uterpe.	55. Pandora.	83. Beatrix.	
hellona.	56. Melete.	84. Clio.	

Von diesen kleinen Planeten wurden 9 von Hind, 9 von Gasparis, 13 von Luther, 13 von Goldschmidt, 7 von Chacornac u. s. w. ent-

deckt. Alle diese Planeten sind teleskopisch. Für die meisten derselben ist es noch nicht gelungen, den scheinbaren Durchmesser mit Sicherheit zu messen. Der wahre Durchmesser der Vesta ist nach Mädler's Messungen 66 Meilen ($\frac{1}{7}$ des Monddurchmessers). Nach La-

mont's Beobachtungen beträgt der Durchmesser der Pallas höchstens 145 Meilen. Juno hat schwerlich über 80 Meilen im Durchmesser.

Je kleiner der scheinbare Durchmesser der Gestirne wird, desto störender wirkt die Irradiation auf eine genaue Messung desselben, man kann deshalb nicht hoffen, den wahren Durchmesser der kleineren Planetoiden durch eine Messung des scheinbaren Durchmessers zu ermitteln. Eine andere später zu besprechende Methode, den wahren Durchmesser der Planetoiden zu berechnen, ergibt sich aber aus einer photometrischen Vergleichung derselben. Nach dieser Methode ergeben sich für die grösseren Planetoiden folgende Durchmesser:

Ceres . . .	46,2	geogr. Meilen,
Vesta . . .	42,9	" "
Pallas . . .	35,8	" "
Juno . . .	26,7	" "

für die kleinsten aber:

Atalanta . .	4,9	geogr. Meilen,
Maja . . .	4,9	" "
Sappho . . .	4,4	" "
Clio . . .	3,9	" "

Der Umfang der Clio beträgt also nur 12 Meilen, ihre Oberfläche nur 48 Quadratmeilen, ist also ungefähr halb so gross als die des ehemaligen Herzogthums Nassau.

Unter diesen kleinen Planeten hat Flora den kleinsten, und Hygiea den grössten mittleren Abstand von der Sonne; ersterer ist 2,20, letzterer 3,15, wenn man den Abstand der Erde von der Sonne gleich 1 setzt.

Die Bahnen dieser kleinen Planeten sind meistens sehr stark excentrisch; so ist z. B. die Excentricität der Iris 0,227, die der Juno 0,255, die der Pallas 0,242. Die geringste Excentricität 0,077 hat die Bahn der Ceres.

Die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik ist bei den kleinen Planeten meistens sehr beträchtlich; sie ist z. B.

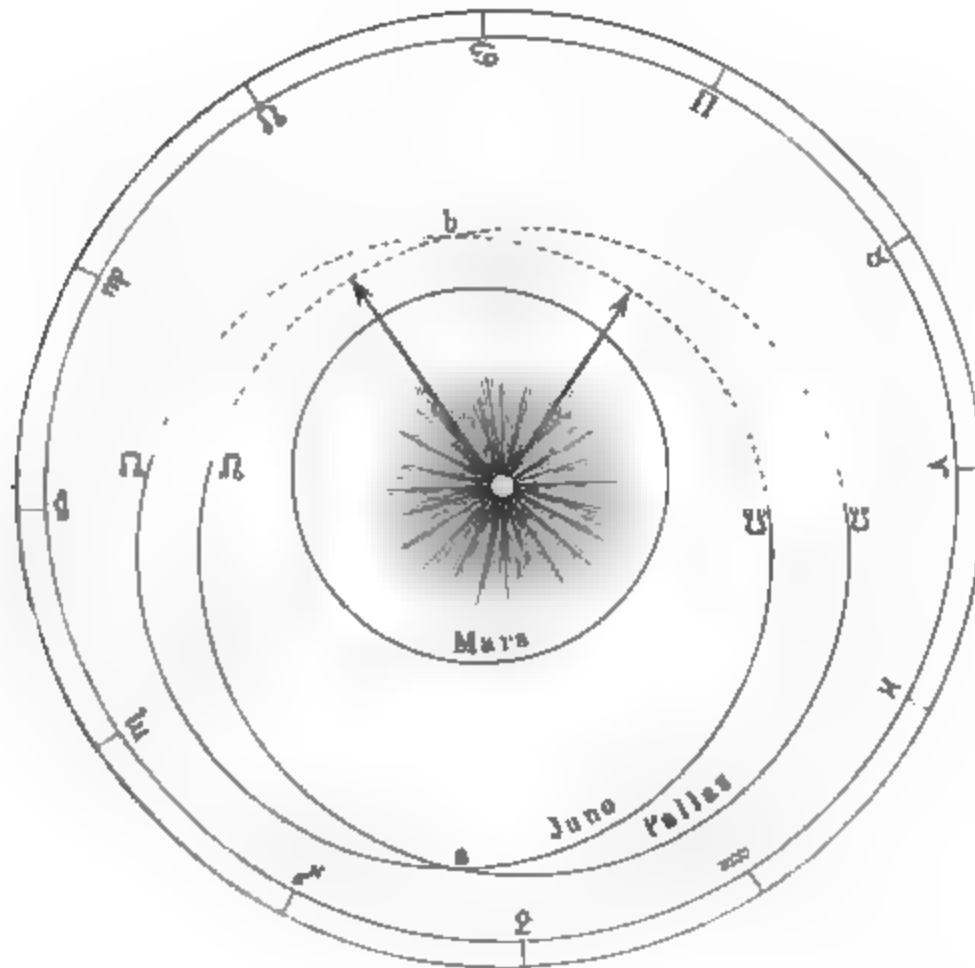
für Flora . . .	5° 53'	für Juno . . .	13° 2'
„ Ceres . . .	10 37	„ Pallas . .	34 35.

Deshalb entfernen sich auch die scheinbaren Bahnen der Planetoiden oft sehr weit von der Ekliptik; so durchlief z. B. Pallas im Jahre 1802 vom 27. Grad südlicher Declination an die Sternbilder Eridanus, Orion, kleiner Hund, Wasserschlang, Sextant und Jungfrau.

Aus den angegebenen Verhältnissen ersieht man schon, dass die Bahnen des kleinen Planeten sich nicht einander einschliessen können, wie z. B. die Bahn der Venus die des Mercur, und die Bahn der Erde wieder die der Venus einschliesst, sondern es finden mannigfache Verschlingungen dieser Bahnen Statt, wie man aus Fig. 98 sieht, welche die Bahnen der Juno und der Pallas darstellt. Bei *a* läuft die Bahn der Pallas nördlich über, bei *b* läuft sie südlich unter der Bahn der Juno her, so dass sich die beiden Bahnen förmlich durchschlingen.

Es ist die Vermuthung ausgesprochen worden, dass die Planetoiden immer eines grösseren Planeten seien, eine Meinung, welche bis jetzt weder bestätigt noch widerlegt werden konnte.

Fig. 98.



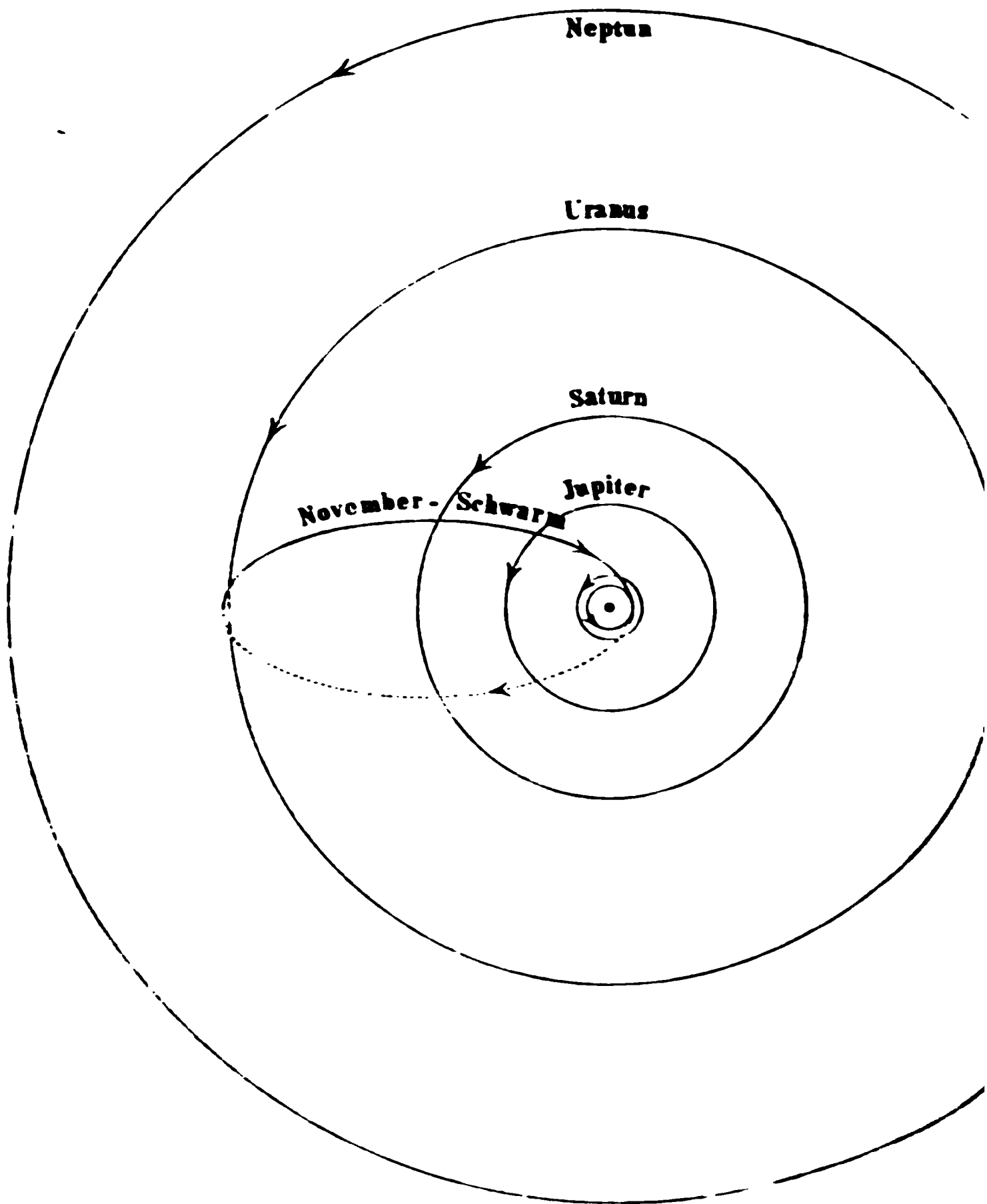
Neptun. Zu den schönsten Triumphen der Wissenschaft gehört die Entdeckung des Neptun (Ψ), welcher noch jenseits des Uranus um die Sonne kreist. Die Entdeckungsgeschichte dieses Planeten können wir erst später besprechen, wenn von der gegenseitigen Massenanziehung der Planeten die Rede sein wird. Die halbe grosse Axe seiner Bahn ist ungefähr 36,154 und seine Umlaufszeit 217,4 Jahre. Da er erst im Jahre 1846 entdeckt worden ist, und man ihn also bis jetzt nur in einem kleinen Theil seiner Bahn beobachten konnte, so kann man die wahren Elemente seiner Bahn noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit angeben.

Neptun erscheint ungefähr wie ein Stern achter Grösse; in jedem Jahre rückt er am Himmel nicht ganz um 2° voran. Sein scheinbarer Durchmesser ist ungefähr $2,5''$; demnach wäre sein wahrer Durchmesser 60 Meilen, während sein Abstand von der Sonne 744 Millionen Meilen beträgt.

Auch ein Trabant des Neptun ist bereits aufgefunden worden.

Fig. 99 stellt die Bahnen der oberen Planeten in ihrem richtigen Grössenverhältniss dar. Der innerste kleine Kreis stellt die Erdbahn

Fig. 99.



der darauf folgende aber die Marsbahn dar. Von der in Fig. gezeichneten elliptischen Bahn, deren Perihel die Erdbahn und Aphel fast die Uranusbahn tangirt, wird später die Rede sein.

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

Die Trabanten. Mit dem Namen der Trabanten oder der 66
Satelliten bezeichnet man solche Himmelskörper, welche die Planeten
nach denselben Gesetzen umkreisen, wie die Planeten selbst die Sonne,
Himmelskörper also, welche die Planeten auf ihren Bahnen begleiten,
aber auch der Name. Vor der Entdeckung der Fernrohre war nur ein
 einziger derartiger Satellit bekannt, nämlich der Mond, dessen Central-
körper die Erde ist. Zu den ersten Entdeckungen aber, welche Gali-
lei mit dem neu erfundenen Fernrohre machte, gehört die, dass der
Jupiter von vier Trabanten in ähnlicher Weise umkreist wird, wie
die Erde von einem einzigen. Später wurden auch noch Trabanten des
Mars, des Saturn, des Uranus und des Neptun entdeckt.

Scheinbare Bahn des Mondes. Nächst der Sonne ist für 67
unstreitig der Mond das wichtigste aller Gestirne. Wie die Sonne
umkreist er in der Richtung von West nach Ost unter den Sternen des
Himmels fort, aber weit rascher als die Sonne, indem er von einem
Stern zum anderen fast um 13 Grade in der angegebenen Richtung vor-
rückt.

Fig. 3, Tab. 7 stellt die scheinbare Bahn des Mondes vom 1. bis
zum 27. Januar 1855 dar. Man sieht zunächst daraus, dass der Mond
seiner Bahn rechtflächig ist und dass in seiner Bahn keine Schlingen und
Knoten vorkommen, wie wir sie bei den Planetenbahnen beobachten.

Die scheinbare Bahn des Mondes bildet (wenn man vor der Hand
von kleinen Abweichungen absieht) einen grössten Kreis an der Him-
melskugel, welcher die Ekliptik in zwei Punkten, den Knoten, schneidet.
In unserer Figur sehen wir den aufsteigenden Knoten bei *c*, den nieder-
steigenden bei *d*.

Da die zweite Ungleichheit bei der scheinbaren Mondbewegung ganz
ähnlich ist, da letztere uns eben so einfach erscheint, wie die Bewegung der
verschiedenen Planeten von der Sonne aus gesehen, so ist klar, dass der

Mond um die Erde kreist. Die siderische Umlaufzeit des Mondes, d. h. die Zeit, in welcher der Mond einen vollen Umlauf um die Erde vollendet, beträgt 27 Tage 7^h 43' 11,5".

Der Mond kommt mit der Sonne sowohl in Conjunction als auch in Opposition. Diese beiden Stellungen des Mondes zur Sonne werden mit dem gemeinschaftlichen Namen der Syzygien bezeichnet.

Die synodische Revolution oder die synodische Umlaufzeit des Mondes ist die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen des Mondes und der Sonne verstreicht. Sie ist größer als die siderische Umlaufzeit; denn während der Mond, von einer Conjunction mit der Sonne ausgehend, einen vollen Umlauf von 360° zurücklegt, ist die Sonne auch weiter nach Osten fortgerückt, der Mond muss also über die 360° hinaus sich noch weiter fortbewegen, um die Sonne wieder einzuholen. Die synodische Revolution des Mondes beträgt 29 Tage 12^h 44' 2,9".

- 68 **Phasen des Mondes.** Je nach den verschiedenen Stellungen des Mondes zur Sonne bietet er uns verschiedene Anblicke dar, welche man mit dem Namen der Phasen bezeichnet. Der Mond selbst ist dunkel; alles Licht, welches er uns zusendet, ist reflectirtes Sonnenlicht. Der Anblick des Mondes muss sich also ändern, je nachdem er uns mehr die dunkle oder die erleuchtete Seite zuwendet. Befindet sich der Mond mit der Sonne in Conjunction, so ist er uns vollkommen unsichtbar, wenn

Fig. 100.



er nicht gerade unmittelbar vor der Sonnenscheibe steht. Es ist dies der Neumond. Als bald entfernt sich der Mond nach Osten hin von der Sonne und erscheint uns nun als eine Sichel, Fig. 100, deren Wölbung gegen die Sonne, also gegen Westen gekehrt ist. Anfange ist die Sichel ganz schmal; sie wird aber allmählig breiter und wenn der Mond in Quadratur ist, so erscheint er uns wie ein leuchtender Halbkreis, Fig. 101. Es ist

dies das erste Viertel. Der erleuchtete Theil des Mondes wächst nun immer noch, Fig. 102, bis er uns endlich zur Zeit der Opposition als eine

Fig. 101.

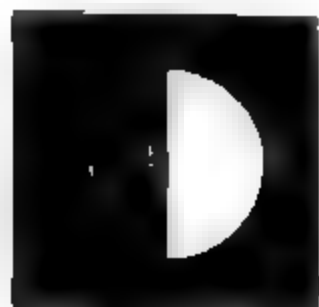


Fig. 102.



Fig. 103.



volle kreisförmige glänzende Scheibe erscheint, Fig. 103. Es ist dies der Vollmond.

Bald nach der Opposition nimmt der Mond auf der Westseite ab, 104, bis er in der zweiten Quadratur wieder nur halb erscheint, jetzt die gewölbte Seite nach Osten kehrend, Fig. 105. Es ist dies

Fig. 104.

Fig. 105.

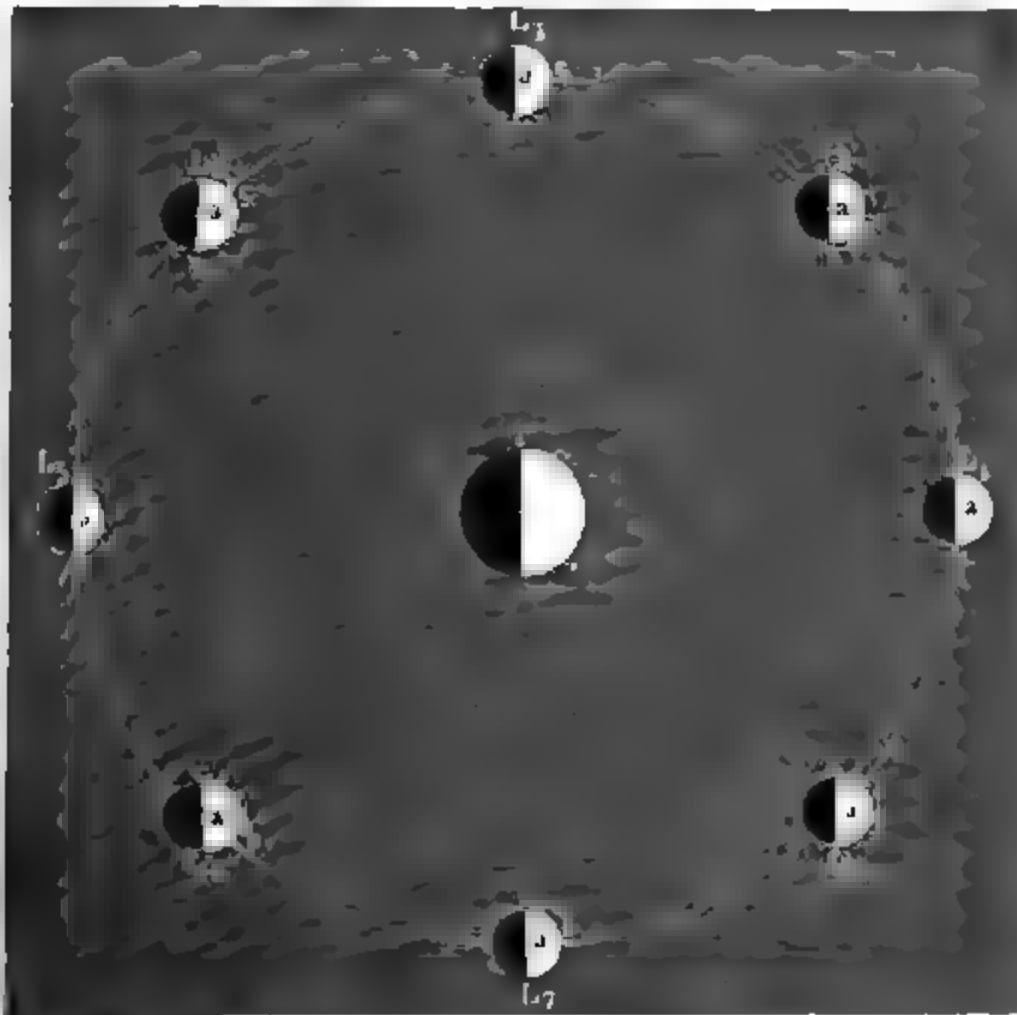
Fig. 106.



letzte Viertel. Nun wird die Sichel, ihre Wölbung immer noch nach Osten kehrend, wieder schmaler und schmaler, Fig. 106, bis sie sich zur Zeit des Neumondes wieder ganz verschwindet.

Der Zeitraum von einem Neumond bis zum nächsten wird mit dem Namen einer Lunation bezeichnet.

Fig. 107.



Es ist leicht, die Phasen des Mondes zu erklären. In Fig. 107 sei E die Erde, $L_1, L_2, L_3 \dots L_8$ der Mond in acht verschiedenen Stellungen, welche er während eines Umlaufes um die Erde passiert. Nehmen

wir an, die Sonne befände sich auf der rechten Seite unserer Figur und zwar in grosser Entfernung. Wenn der Mond sich in L_1 , also zwischen der Erde und der Sonne befindet, so wendet er der Erde seine dunkle Seite zu, wir haben Neumond; ist aber der Mond in die Stellung L_2 gelangt, so erscheint er uns in der Gestalt Fig. 100, denn in dieser Stellung ist der uns sichtbare Theil der erleuchteten Mondhälfte begrenzt durch den Halbkreis aca' (a bezeichnet den Gipfelpunkt des Mondes, a' den tiefsten, welcher in Fig. 107 nicht sichtbar ist, weil er vertical unterliegt) und durch den Halbkreis aba' . Ersterer erscheint uns als voller Halbkreis, die westliche Gränze der Mondscheibe bildend; letzterer als die Ostgränze bildend, zur Ellipse verkürzt, welche gleichfalls ihre Wölbung nach Westen kehrt.

Ist der Mond in die Stellung L_3 gelangt, so erscheint die westliche Gränze noch immer als ein voller Halbkreis. Der Halbkreis aba' aber, welcher auf der uns zugekehrten Mondhälfte Licht und Schatten scheidet, erscheint uns zur geraden Linie verkürzt; wir sehen also den Mond in der Gestalt Fig. 101.

Wird der Winkelabstand des Mondes von der Sonne noch grösser, kommt er in die Stellung L_4 , so erscheint uns nun die Gränzlinie aba' wieder elliptisch; aber die Wölbung jetzt nach Osten kehrend, während die westliche Gränze des Mondes noch immer ein voller Halbkreis ist (Fig. 102).

Zur Zeit der Opposition ist uns die ganze erleuchtete Hälfte des Mondes zugekehrt, er erscheint uns also als eine volle kreisförmige Mondscheibe.

Nach diesen Anseinandersetzungen hat es wohl keine Schwierigkeit mehr, die Mondgestalten Fig. 105, 106, 107 aus den Stellungen bei L_1 , L_2 und L_3 abzuleiten.

Wegen der so schnellen eigenen Bewegung des Mondes ändert sich auch die Zeit seines Auf- und Unterganges sehr rasch; an jedem folgenden Tage geht der Mond fast eine Stunde später auf als am vorhergehenden.

Die Stunden des Auf- und Unterganges des Mondes stehen mit seinen Phasen in engster Beziehung. Zur Zeit des Neumondes gehen Mond und Sonne zusammen auf und unter; der Mond ist also während des Tages — über, während der Nacht — unter dem Horizont, die Nächte sind zur Zeit des Neumondes nicht durch Mondschein erhellt.

Zur Zeit des Vollmondes dagegen findet der Aufgang des Mondes ungefähr zur Zeit des Sonnenunterganges Statt; der Vollmond leuchtet uns also die ganze Nacht hindurch.

Zur Zeit des ersten Viertels culminirt der Mond ungefähr, wenn die Sonne untergeht, der Untergang des Mondes findet alsdann um Mitternacht Statt; das erste Viertel glänzt also am westlichen Himmel in der ersten Hälfte der Nacht.

Zur Zeit des letzten Viertels findet der Aufgang des Mondes um

itternacht Statt, das letzte Viertel erhellt also die letzte Hälfte der Nacht.

Wenn der Mond der Conjunction sehr nahe ist, wenn er uns also

Fig. 108.



nur als eine ganz schmale Sichel erscheint, so ist der Rest der Mondscheibe nicht völlig dunkel, sondern man sieht ihn durch einen schwachen aschfarbigen Schimmer erhellt, wie Fig. 108 andeutet.

Es ist dies nicht etwa ein dem Monde eigenthümliches Licht, sondern es rührt daher, dass zur Zeit des Neumondes die ganze von der Sonne erleuchtete Erdhälfte gerade dem Monde zugekehrt ist. Die Mondnacht ist zu dieser Zeit durch den vollen Erdschein erleuchtet.

Gestalt der Mondsbahn. Der scheinbare Durchmesser des Mondes variirt zwischen $29'$ und $34'$, die Entfernung des Mondes von der Erde ist also veränderlich und ebenso ist auch die Winkelgeschwindigkeit des Mondes in seiner scheinbaren Bahn nicht gleichförmig. Unter genauer Berücksichtigung aller dieser Umstände ergibt sich, dass die Bahn des Mondes in Beziehung auf die Erde eine Ellipse ist; die Excentricität der Mondsbahn beträgt ungefähr $\frac{1}{18}$ der halben grossen Axe.

Die Ebene der Mondsbahn macht im Mittel einen Winkel von $5^\circ 9'$ mit der Ekliptik.

Die Bewegung des Mondes um die Erde, welche nach dem Gesagten ziemlich einfach erscheint, ist aber in der That sehr verwickelt, weil die Elemente der Mondsbahn sich sehr rasch ändern.

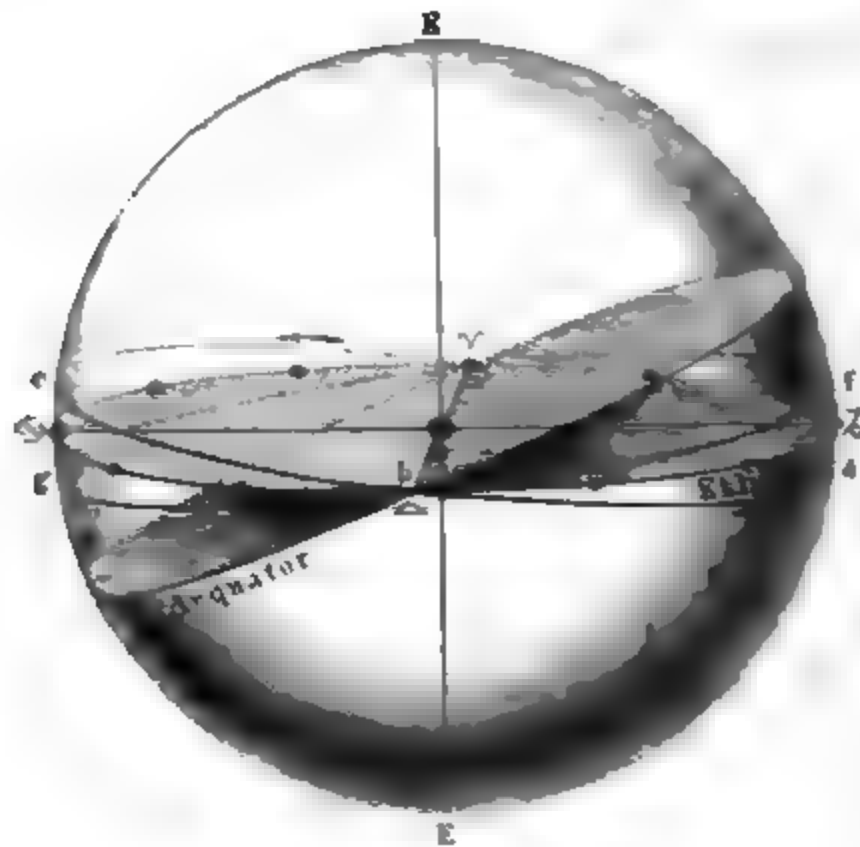
Die auffallendste Veränderung in den Elementen der Mondsbahn ist zunächst die rasche Verschiebung der Knoten. Die Bewegung der Knotenlinie ist rückläufig und vollendet ihren ganzen Umlauf ungefähr in 8 Jahren 219 Tagen; die Ebene der Mondsbahn dreht sich also gegen die Ordnung der Zeichen in einem Jahre etwas über 19° . So war die Länge des aufsteigenden Knotens im Januar 1855 ungefähr 49° (Fig. 3, Tab. 7). Bis zum Januar 1856 rückte der aufsteigende Knoten ungefähr um 19° dem Frühlingspunkte näher, so dass um diese Zeit eine Länge ungefähr nur noch 30° betrug. Ungefähr in der Mitte des Jahres 1857 erreichte der aufsteigende Knoten der Mondsbahn den Frühlingspunkt; der niedersteigende Knoten fiel damals mit 0° zusammen.

Zu einer Zeit, in welcher der aufsteigende Knoten der Mondsbahn, wie dies im Jahre 1857 der Fall war, wie es gegen Ende 1875 wieder der Fall sein wird und wie es in Fig. 2, Tab. 8 dargestellt ist, mit 0° zusammenfällt, erreicht sowohl die nördliche als auch die südliche Declination ein Maximum; denn der Winkel, welchen die Mondsbahn mit dem Himmelsäquator macht, ist in diesem

Fall gleich dem Winkel, welchen die Mondsbahn mit der Ekliptik + dem Winkel zwischen Ekliptik und Aequator, also $23^{\circ} 28' + = 28^{\circ} 37'$. Die Mondsbahn geht alsdann von 0 ♊ (siehe die Stern Tab. IV.) über die Plejaden dicht unter β tauri und β geminorum bei durch den Herbstpunkt und über α virginis und α scorpi Frühlingspunkt zurück.

Die Neigung der Mondsbahn gegen den Himmelsäquator ist Minimum, nämlich $23^{\circ} 28' - 5^{\circ} 9' = 18^{\circ} 19'$, wenn der niederste Knoten mit dem Frühlingspunkte zusammentrifft. Der Mond tritt dann (Fig. 1, Tab. 8) in 0 ♊ auf die Südseite der Ekliptik, um

Fig. 109.



scheinbare Bahn geht nun ungefähr über Aldebaran etwas nörd γ geminorum vorbei nach 0 ♋ über γ librae und dann zwischen β Capricorni hindurch.

Es war dies zuletzt 9¹/₄ Jahr vor der eben besprochenen auf welche sich Fig. 2, Tab. 8 bezieht, also im Herbst 1866 der

Zur Erläuterung der eben besprochenen Verhältnisse die Fig. 109, welche die Himmelskugel sammt dem Aequator und der Ekliptik darstellt. Diese beiden Ebenen sind der Deutlichkeit wegen $a c b d$ ist die auf die Himmelskugel projecirte Mondsbahn zu ein in welcher, der Fig. 2, Tab. 8 entsprechend, der aufsteigende der Mondsbahn mit dem Frühlingspunkte zusammenfällt; der welchen die Ebene der Mondsbahn mit dem Aequator macht, ist $28^{\circ} 37'$.

In dieser Stellung bleibt aber die Mondsbahn nicht stehen; sie beschreibe so, als ob sie bei unveränderter Neigung gegen die Ekliptik die Axe EE' derselben gegen die Ordnung der Zeichen gedreht werde, so dass der aufsteigende Knoten allmählig von γ nach δ und weiter von δ nach ϵ rückt. Ist der aufsteigende Knoten in 0ϵ , in b angelangt, so hat nun die Ebene der Mondsbahn die Lage f , sie macht zu dieser Zeit nur noch einen Winkel von $18^\circ 19'$ mit Aequator.

Hier mag noch die Bemerkung Platz finden, dass der Mond den lichen Wendepunkt seiner Bahn im Sommer um die Zeit des Neumondes, im Winter zur Zeit des Vollmondes passiert. Der Vollmond bleibt in den Wintermonaten weit länger über dem Horizont als in den Sommermonaten.

Die Absidenlinie (die grosse Axe) der Mondsbahn ändert ihre Gleichfalls sehr rasch. Das Perigäum schreitet rechtläufig im Jahre fast um 41° voran, so dass es in 8 Jahren 310 Tagen und Stunden einen vollständigen Umlauf um den ganzen Himmel herum macht.

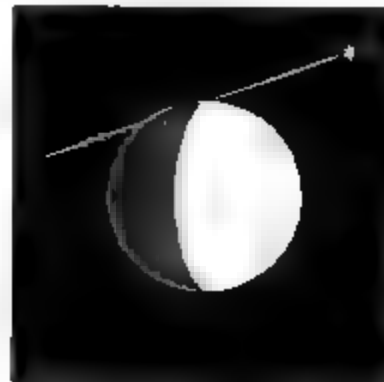
Ferner ist die Excentricität und die Neigung der Mondsbahn gegen die Ekliptik innerhalb gewisser Gränzen veränderlich. Diese und noch manche andere Unregelmässigkeiten des Mondlaufes, auf die wir zum Schluss zurückkommen, wenn von den physikalischen Ursachen derselben gesprochen werden wird, machen, dass die genaue Berechnung der Mondsörter äusserst verwickelte ist.

Sternbedeckungen. Wenn der Mond zwischen der Erde und einem Fixsterne oder einem Planeten hindurchgeht, so sagt man, dass der Mond denselben bedecke. Solche Sternbedeckungen kommen ziemlich häufig vor.

Fig. 110.



Fig. 111.



Da der Mond unter den Fixsternen in der Richtung von West nach Ost fortschreitet, so ist klar, dass die Sterne auf seiner Ostseite verschwinden und auf der Westseite wieder zum Vorschein kommen.

Fig. 110 und Fig. 111 stellen zwei Bedeckungen von α scorpii dar, wie sie zu Berlin erschienen sind. Die erste fand am 26. März 1856

Starr. Der Stern trat am $16^h 39.2'$ am östlichen Rande des Mondes ein und am $17^h 58.6'$ auf der Westseite wieder aus, die Bedeckung dauerte also 1 Stunde 19.4 Minuten. Bei der in Fig. 111 dargestellten Bedeckung, welche am 10. August 1856 stattfand, war die Zeit des Eintritts $5^h 38.3'$, die Zeit des Austritts $6^h 9.7'$ Berliner Zeit.

Das Verschwinden und das Wiederscheinen der Sterne erfolgt plötzlich; besonders scharf lassen sich die Eintritte beobachten, wenn sie am innern Rande stattfinden, wie in dem Fig. 111 abgebildeten Falle.

Von den Sternen erster Grösse können vier bedeckt werden, nämlich Aldebaran, Regulus, Spica und Antares. Ein besonders interessantes Schauspiel bietet die Bedeckung der Plejaden dar.

Die Bedeckungen von α Tauri finden Statt, wenn die Neigung der Mondbahn gegen den Aequator sehr klein ist, wenn also ihr aufsteigender Knoten sich in der Nähe von \odot befindet, wie in Fig. 1, Tab. 6; hingegen werden die Plejaden bedeckt, wenn der Winkel, welchen die Ebene der Mondbahn mit dem Aequator macht, seinem grössten Werthe nahe ist, wenn also der aufsteigende Knoten in der Nähe des Frühlingspunktes liegt, Fig. 2, Tab. 8, wie dies z. B. im Jahre 1857 der Fall war.

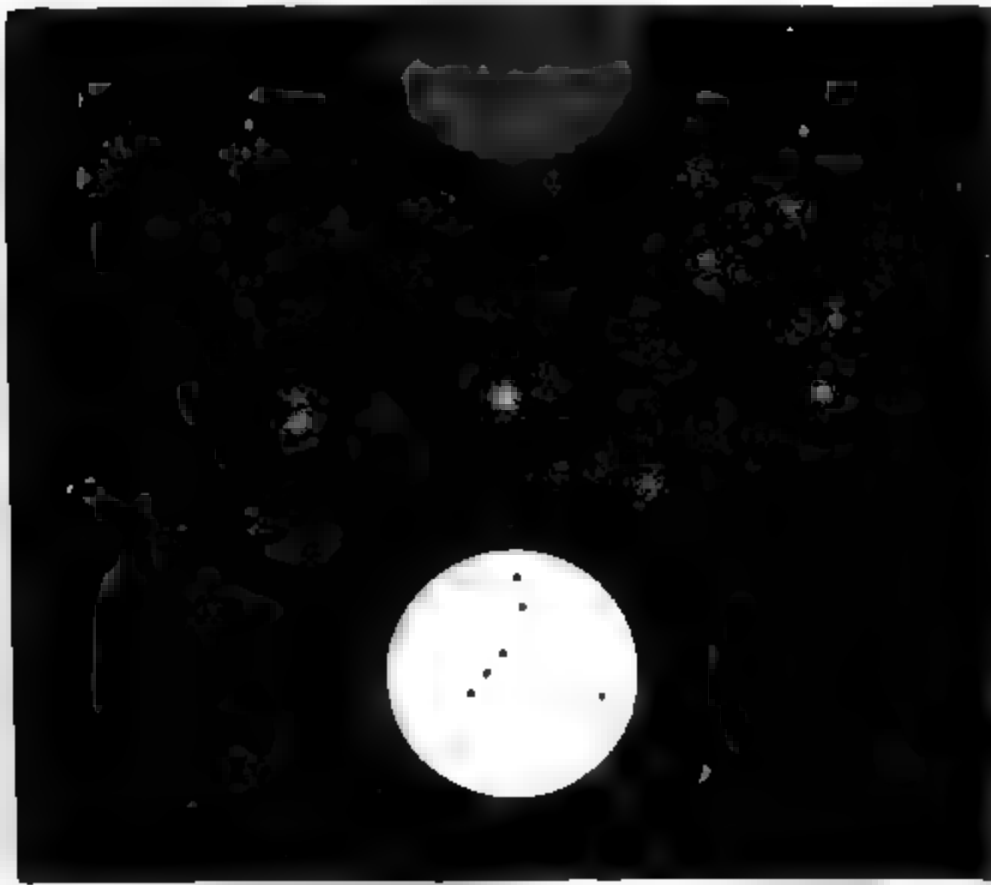
Es ist bereits oben in §. 19 S. 35 angeführt worden, dass die Sternbedeckungen ein ausgezeichnetes Mittel zur Längenbestimmung sind; aus diesem Grunde werden für alle Hauptsternwarten die Bedeckungen Observationen der Fixsterne erster bis sechster Grösse auf mehrere Jahr verabrechnet. In den Ephemeriden findet man den Moment des Eintritts und den Moment des Austritts der Fixsterne oder Planeten nach der Zeit der entsprechenden Sternwarte ausgedrückt.

- 71 **Parallaxe Entfernung und Grösse des Mondes.** Da M zu sehr der Erde so nahe, dass er gleichzeitig von verschiedenen Orten der Halbkugel aus betrachtet, an verschiedenen Stellen des Himmelsgewölbes gesehen werden kann, so kann ein Stern eben den nördlichen Mondrand berühren, so wie der Mond vom Cap der guten Hoffnung aus betrachtet, noch vollständig von jenem Sterne gesehen werden, und zwar wird der Abstand des Sternes vom südlichen Mondrand sich ungefähr 1° betragen. Wenn der Mond von Berlin aus gesehen an der Stelle der Plejaden Gruppe erscheint, welche in Fig. 112 durch den ganz weissen Kreis bezeichnet ist, so sieht man ihn gleichzeitig vom Cap der guten Hoffnung aus an der Stelle des schraffirten Kreises.
- Es geht daraus hervor, dass die M-Parallaxe sehr bedeutend ist, und daher konnte es nicht fehlen, dass sie schon sehr früh annähernd genau war bestimmt worden. Schon Hipparchus bestimmte sie zu 47.5 bis 55.5 Minuten, während der wahre Werth in der That nahezu 58 Minuten beträgt.

Am einfachsten und genauesten erhält man die M-Parallaxe dadurch, dass zwei Beobachter an zwei möglichst weit von einander ent-

an Orten, welche nahezu auf demselben Meridian liegen, an demselben Tage die Zenithdistanz des Mondes zur Zeit der Culmination be-
nennen.

Fig. 112

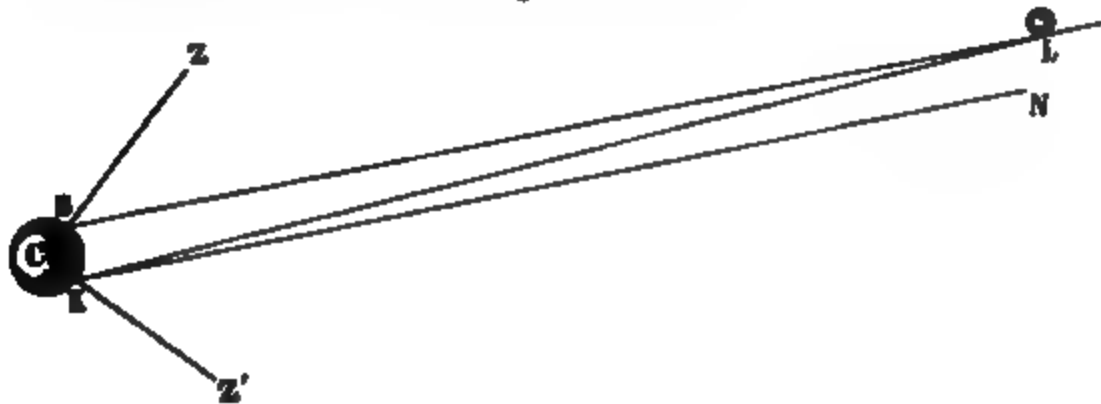


So fand z. B. den 6. December 1751 Lalande in Berlin die Zenith-
distanz des südlichen Mondrandes beim Durchgang durch den Meridian
zu $41^{\circ} 15' 44''$, während auf dem Cap der guten Hoffnung an dem-
selben Tage Lacaille bei der Culmination des Mondes die Zenithdistanz
des südlichen Mondrandes gleich $46^{\circ} 33' 37''$ fand.

Die Polhöhe von Berlin ist $52^{\circ} 31' 13''$ nördl.

Die Polhöhe des Caps ist $33^{\circ} 55' 15''$ südl.

Fig. 113.



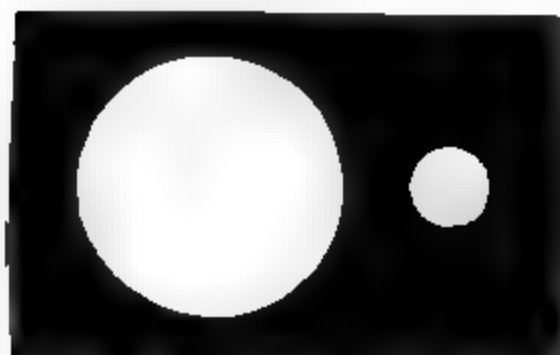
In Fig. 113 sei C der Mittelpunkt der Erde, B Berlin, K das Cap
guten Hoffnung, L der südliche Mondrand. ZBL ist die zu Berlin

und $Z'KL$ ist die auf dem Cap beobachtete Zenithdistanz des süd Mondrandes. — Wäre der Mond unendlich weit entfernt, so wären nach ihm von B und K aus gerichteten Visirlinien BL und KL auf einander parallel und die Summe der Zenithdistanzen ZBL und ZKL müsste gleich sein dem Winkel BCK , also $86^{\circ}26'28''$. Die Summe der beobachteten Zenithdistanzen ist aber $87^{\circ}49'21''$, mithin ist der Winkel NKL , also auch Winkel $BLK = 1^{\circ}22'53''$, oder mit andern Worten, die Sehne BK erscheint, vom Mond aus gesehen, unter einem Winkel von $1^{\circ}22'53''$. Danach ergibt sich dann die Horizontalparallaxe des Mondes, d. h. der Winkel, unter welchem, vom Mond aus, der Halbmesser der Erde erscheint, wenn man bei der Berechnung die nöthigen Correctionen anbringt, gleich $0^{\circ}58'44,2''$.

Da die Entfernung des Mondes von der Erde variiert, so ist auch die Horizontalparallaxe des Mondes veränderlich: der mittlere Werth derselben ist $0^{\circ}57'19,9''$, und demnach ist die mittlere Entfernung des Mittelpunktes des Mondes vom Mittelpunkte der Erde gleich 59.94643 Halbmessern des Erdäquators oder 513.000 geographischen Meilen.

Da nun die Entfernung des Mondes von der Erde und der wahre Durchmesser bekannt ist, unter welchem er uns erscheint, so kann man auch den wahren Durchmesser desselben berechnen, welcher gleich 0.2742 Erddurchmessern oder gleich 472 geographischen Meilen ergibt.

Fig. 114



Der Durchmesser des Mondes ist also ungefähr $\frac{1}{4}$ der der Erde, die Oberfläche desselben $\frac{1}{16}$ und das Volumen $\frac{1}{64}$ von den entsprechenden Größen der Erde.

Fig. 114 dient dazu, die Größenverhältnisse der Erde und des Mondes anschaulich zu machen.

Fig. 115 stellt die Erde und den Mond in ihrer gegenseitigen Entfernung im richtigen Verhältnisse dar.

- 12 **Bahn des Mondes im Sonnensystem.** Wir haben die Bewegung des Mondes nur in Beziehung auf die Erde betrachtet, aber die Erde selbst eine fortwährende Bewegung hat, da sie um die Sonne kreist, so ist die Bahn des Mondes im Raum oder vielmehr in Beziehung auf die Sonne eine Epizykelbahn (S. 48). Die Bahn des Mondes zeigt aber keine Verschiebung, wie wir sie oben kennen lernten, weil der Halbmesser des Epizykels sehr klein ist im Vergleich zum Abstand der Erde von der Sonne, und weil die Geschwindigkeit des Mondes im Vergleich sehr gering ist gegen die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn um die Sonne. Charakter der Mondbahn ist aus Fig. 116 zu sehen, der

nach §. 48 wohl leicht verständlich sein wird; doch ist hier zu bemerken, dass diese Figur die Mondcycloide noch keineswegs im Verhältniss zeigt, vielmehr ist der Abstand des Mondes von

Fig. 116



der Erde in dieser Figur noch viel zu gross genommen im Vergleich zum Halbmesser der Erdbahn. Sollte in der Zeichnung das richtige Verhältniss eingehalten werden, so müsste der Radius des Epicykels $\frac{1}{400}$ vom Radius des Deferenten, es müsste TL , $T_1 L_1$ u. s. w. $\frac{1}{400}$ des Halbmessers sein, mit welchem der Bogen TT_1 gezogen ist; die Mondcycloide ist also in der That viel flacher als die in unserer Figur dargestellte Curve.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Mond in seiner Bahn um die Erde fortschreitet, ist ungefähr 30 mal geringer, als die Geschwindigkeit der Erde auf ihrem Wege um die Sonne.

In Fig. 116 ist die Bahn des Mondes im Sonnensystem so dargestellt, als ob sie ganz mit der Ebene der Erdbahn zusammenfiel oder vielmehr ist in Fig. 116 die Projection der Mondsahn auf die Ebene der Ekliptik dargestellt. Um eine richtige Vorstellung von der wahren Lage der Mondsahn im Raume zu geben, muss man dieselbe, wenn man nicht zu einem Modell seine Zuflucht nehmen will, perspectivisch darstellen, wie dies (natürlich ohne Einhaltung der richtigen Grössenverhältnisse) in Fig. 117 (a. f. S.) geschehen ist. S stellt die Sonne dar, um welche die Erde in einem Kreise sich bewegt, welcher in unserer Figur zu einer Ellipse $TT'T''$ verkürzt erscheint. Für den Moment, in welchem sich die Erde in T befindet, sei $adbc$ die Lage der

a , welche die Ebene der Erdbahn in der Linie ab schneidet. c die Knotenlinie der Mondsahn, deren eine Hälfte bca Ebene der Erdbahn liegt, während die andere Hälfte adb sich auf der andern Seite der Erdbahn befindet. Der Winkel cTS , welchen die Mondsahn mit der Ebene der Erdbahn macht, beträgt $5^\circ 9'$; unserer Figur der Deutlichkeit halber zu gross aufgetragen, e der Durchmesser der Mondsahn im Verhältniss zu dem der

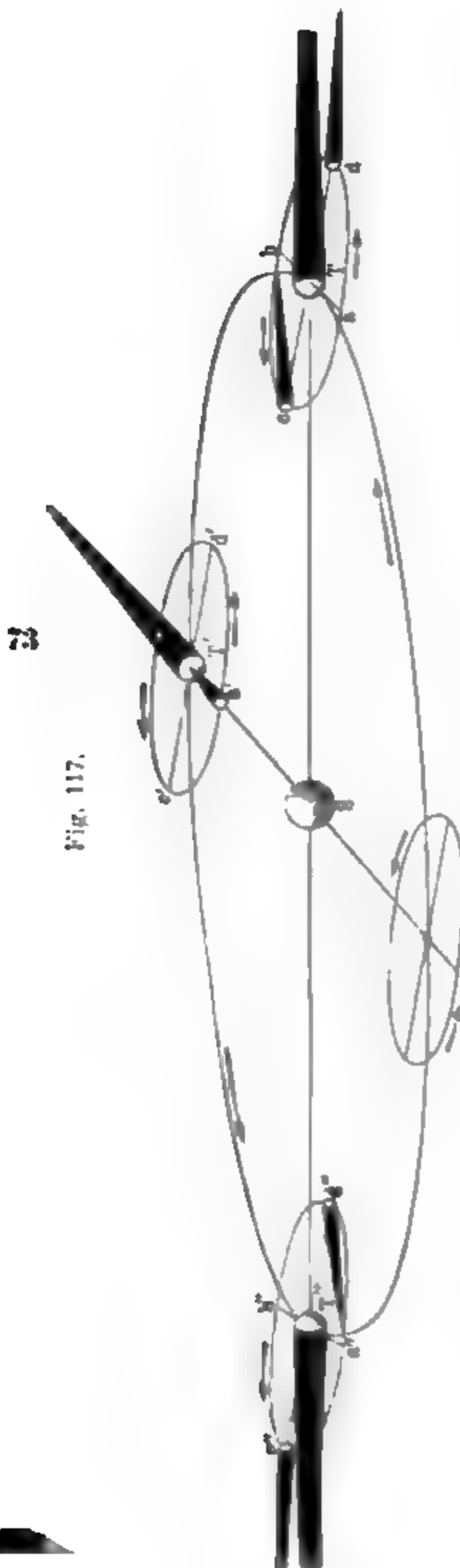


Fig. 117.

Erdbahn viel zu gross ge-
ist. Ebenso ist in unserer
der Durchmesser der Sonne
Erde und des Mondes im Ver-
niss zum Abstand TS der Erde
der Sonne zu gross dargestellt.

Es ist also adb der epicy-
Kreis, dessen Umfang der Mond
27 Tagen 7^h und 43' der
während die im Mittelpunkt
Bahn stehende Erde im Def
 $TT'T''$ fortrollt. Wenn die
nach T' gekommen ist, so ist
(wenn man von der Bewegung
Knotenlinie abstrahirt) der
epicyclische Kreis die Lage $a'd'$
hat die Lage $a''d''b''c''$ wenn
Erde nach T'' gekommen ist.

Mondfinsternisse.

Da die Erde ein dunkler undurchsichtiger
Körper ist, so muss sie einen Schatten
geben, welcher, da die Erde
ist, als die Sonne, die Gestalt
Kegels abd , Fig. 118, hat,
kreisförmige Basis durch den Um-
fang der Erde gebildet ist. In
Raum abd dringt gar kein Sonnen-
strahl, es ist der Kernschatten.
Dieser Kernschatten ist ringsum
einem Halbschatten umgeben,
welcher diejenigen Stellen um-
gibt, welchen nur ein Theil der
Sonne sichtbar ist, an welchen
weder vollkommener Auschluss
Sonnenstrahlen, noch eine Ver-
leuchtung stattfindet.

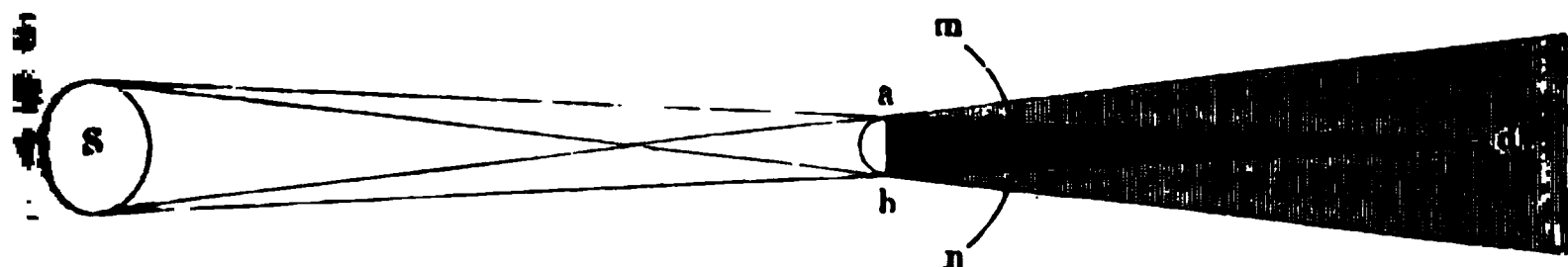
Die Länge des Kernschattens
trägt ungefähr 216 Erdradien.
Sie wird grösser, wenn die Erde
im Aphelium, kleiner, wenn sie
im Perihelium sich befindet.

Durch diesen Schatten geht
der Mond von Zeit zu Zeit hin-
und her und erscheint uns dann

stert. Solche Mondfinsternisse können natürlich nur stattfinden, wenn \odot \ominus , also zur Zeit des Vollmondes.

Dass aber nicht bei jedem Vollmond eine Mondfinsterniss eintritt, ist leicht einzusehen. Der Mond ist 60 Erdhalbmesser von der Erde entfernt; in dieser Entfernung aber ist der Durchmesser des Kernschattens gleich 0,72 Erddurchmessern oder gleich 2,9 Monddurchmessern. Von der Erde aus gesehen, erscheint also der Halbmesser des Kernschattens an jener Stelle unter einem Winkel von ungefähr 44 Minuten.

Fig. 118.



Der Mittelpunkt des Erdschattens befindet sich natürlich stets auf der Ekliptik, und zwar der Sonne diametral gegenüberstehend. Wenn sich also der Mondrand zur Zeit des Vollmondes der Ekliptik wenigstens bis auf 44 Minuten genähert hat, so tritt er in den Erdschatten ein; wenn aber, wie dies meistens und auch in Fig. 3, Tab. 7 dargestellten Stück der Mondbahn der Fall ist, zur Zeit der Opposition (also des Vollmondes) der Mond weiter von der Ekliptik entfernt ist, so geht er entweder über oder unter dem Erdschatten vorüber, und es findet alsdann keine Mondfinsterniss Statt.

Eine Mondfinsterniss kann also nur dann stattfinden, wenn sich der Mond zur Zeit seiner Opposition mit der Sonne in der Nähe des aufsteigenden oder niedersteigenden Knotens seiner Bahn befindet, wenn zur Zeit des Vollmondes die Knotenlinie der Mondbahn nahezu mit der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde zusammenfällt, wie dies bei T Fig. 117 der Fall ist. Passirt der Mond den aufsteigenden Knoten b' , während gleichzeitig die Knotenlinie $a'b'$ mit $T'S$ zusammenfällt, so geht der Mond durch den Erdschatten, es findet eine Mondfinsterniss Statt.

Ebenso wird eine Mondfinsterniss stattfinden, wenn der Mond zur Zeit der Opposition den niedersteigenden Knoten passirt, während die Knotenlinie der Mondbahn in einer geraden Linie mit der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne liegt.

Es findet dagegen keine Mondfinsterniss Statt, wenn zur Zeit, in welcher der Mond mit der Sonne in Opposition kommt, die Knotenlinie seiner Bahn bedeutend von der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde abweicht. Der Vollmond geht namentlich, wie bei d und c'' , unter oder über dem Erdschatten her, wenn die Knotenlinie ab bei T oder $a''b''$ bei T'' rechtwinklig auf der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne steht.

Das Wesen der Mondfinsternisse wird wohl am besten durch Betrachtung einzelner Fälle erläutert.

Fig. 119.



Länge des Mondes gerade um 180° von der Länge der Sonne d war dem astronomischen Jahrbuche zufolge um $16^h 56,7'$. Mai nicht, dass in diesem Moment der Mittelpunkt des Mondes in Punkte f stand, dessen Länge $221^\circ 11'$ war.

Zur Construction des Verlaufes Mondfinsterniss, welche sich 1. Mai 1855 ereignete, findet im Berliner astronomischen buche folgende Data:

die Breite ζ am 1. Mai 1855
 12^h gleich $+ 0^\circ 24' 21''$

die Breite ζ am 1. Mai 1855
 24^h gleich $- 0^\circ 12' 19''$

Aus diesen Angaben lässt sich leicht berechnen, dass der Mittelpunkt des Mondes die Ekliptik 1. Mai $19^h 58'$ oder nach bürgerlicher Zeit am 2. Mai Morgens $58'$ passirte.

Es war die Länge ζ am

1855 $12^h = 218^\circ 27' 7''$

ferner war die Länge ζ am

1855 $24^h = 225^\circ 4' 20''$

Daraus berechnet man dann die Länge des Mondmittelpunktes um $19^h 58'$ gleich $222^\circ 4'$; es ist dies die Länge des aufsteigenden Mondknoten.

Die horizontale Linie in F stellt ein Stück der Ekliptik zwar ungefähr vom $218. b$ Längengrade dar. Jeder Grad einen Pariser Zoll lang aufgetragen eine Länge von einer Pariser Linie stellt also 5 Bogenminuten dar der Knotenpunkt, dessen Länge ermittelt wurde, und a ist der Punkt an welchem nach obigen A der Mittelpunkt des Mondes 1. Mai um 12^h stand: da ein Stück der Mondbahn.

Der Moment des Vollmonds der Augenblick, in welchem

Dies ist aber auch die Länge des Punktes c , welchen in demselben ent der Mittelpunkt des Erdschattens einnahm. In unserer Figur ieser Erdschatten als ein vollkommen schwarzer Kreis dargestellt, n Radius beinahe 9 Pariser Linien ist, da ja der Halbmesser des chattens an der fraglichen Stelle $44'$ beträgt und eine Winkelgrösse $5'$ in unserer Figur als eine Pariser Linie aufgetragen ist.

Es ist hier für den Halbmesser des Erdschattens an der fraglichen : der Mittelwerth von $44'$ genommen worden. Wenn die Construc- ganz genaue Resultate geben sollte, so dürfte man sich mit diesem lwerthe nicht begnügen, sondern man müsste ihn aus der Ent- ng, in welcher sich zur Zeit der Finsterniss Sonne und Mond gerade len, erst berechnen. Die Elemente zu einer solchen Berechnung n sich in den astronomischen Jahrbüchern.

Der Erdschatten steht aber nicht still, er schreitet in einer Stunde $'25''$ von West nach Ost, also in unserer Figur von der Rechten inken fort. In einer Stunde bewegt sich aber der Mond in gleicher ung um $33'4''$ vorwärts; wir können also, da es sich nur um die ve Bewegung des Mondes und des Erdschattens handelt, annehmen, der Erdschatten stillstände und dass der Mond in einer Stunde nur $0'39''$ nach Osten hin fortschritte.

In f stand der Mittelpunkt des Mondes um $16^h 57'$, um 17 Uhr er also noch um 1,5 Bogenminuten östlicher, also in dem mit 17 chneten Punkte. Misst man nun auf der Mondbahn von dem te 17 aus die Länge von $30,65'$ nach beiden Seiten hin ab, so findet die mit 15, 16, 18 und 19 bezeichneten Punkte, in welchen sich Mondmittelpunkt um 15, 16, 18 und 19 Uhr befand, wenn wir nur relative Bewegung zum Erdschatten betrachten.

Der scheinbare Halbmesser des Mondes zur Zeit dieser Finsterniss $15,5'$, und mit diesem Halbmesser sind die Kreise um die Punkte q und m gezogen.

Die Punkte m und n stehen von c um die Summe der Halbmesser Erdschattens und des Mondes ab, folglich wird ein mit dem Radius um n oder m gezogener Kreis den Erdschatten gerade berühren. der Mittelpunkt des Mondes in n stand, begann also der Mond in den Kernschatten der Erde einzutreten. Wie man aus der Fi- 119 leicht ansehen kann, erfolgte dieser Eintritt ungefähr um $15^h 8'$, er Abstand von n bis zu dem mit 15^h bezeichneten Punkte einem ntervall von 8 Minuten entspricht.

Der Mond trat eben aus dem Erdschatten vollständig aus, die Fin- iss war zu Ende, als der Mittelpunkt des Mondes in m anlangte, um $18^h 49'$ der Fall war.

Die Punkte p und q sind von c um die Differenz des Halbmessers Erdschattens und des Mondes entfernt; wenn also der Mittelpunkt Mondes in p oder in q steht, so wird der Mondrand die Gränze des schattens gerade von innen berühren. In dem Augenblicke also, in

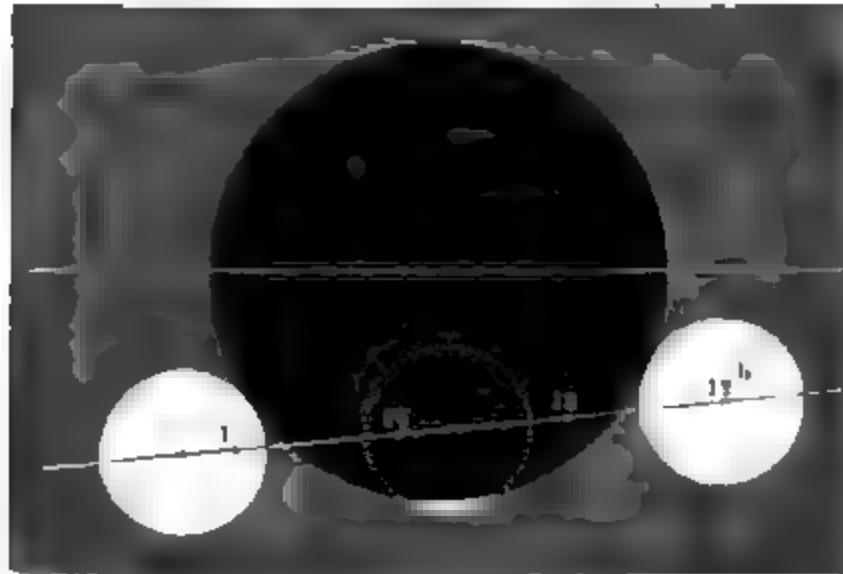
welchem der Mittelpunkt des Mondes in p anlangte, war der Mond vollständig in den Erdschatten eingetreten; es war dies der Anfang totalen Finsterniss, welcher um $16^h 10'$ stattfand, da 10 Minuten nöthig waren, damit der Mond von dem mit 16 bezeichneten Punkt nach p gelangte.

Die totale Finsterniss erreichte ihr Ende, als der Mittelpunkt Mondes in q anlangte, um $17^h 47'$.

Da der Mond an jenem Tage für Berlin bereits um $16^h 32'$ unterging, so konnte man daselbst, sowie in ganz Europa, nur den Anfang nicht das Ende jener Finsterniss sehen.

Wenn der Mond in dem Moment der Opposition noch weiter seinem auf- oder niedersteigenden Knoten entfernt ist, als in dem betrachteten Falle, so kann die Mondscheibe nicht mehr vollständig den Erdschatten eintreten, die Finsterniss ist dann nur eine part

Fig. 120.



Die Figuren 120 und 121 stellen den Verlauf der partialen Mondfinnisse vom 13. November 1845 und vom 31. März 1847 dar.

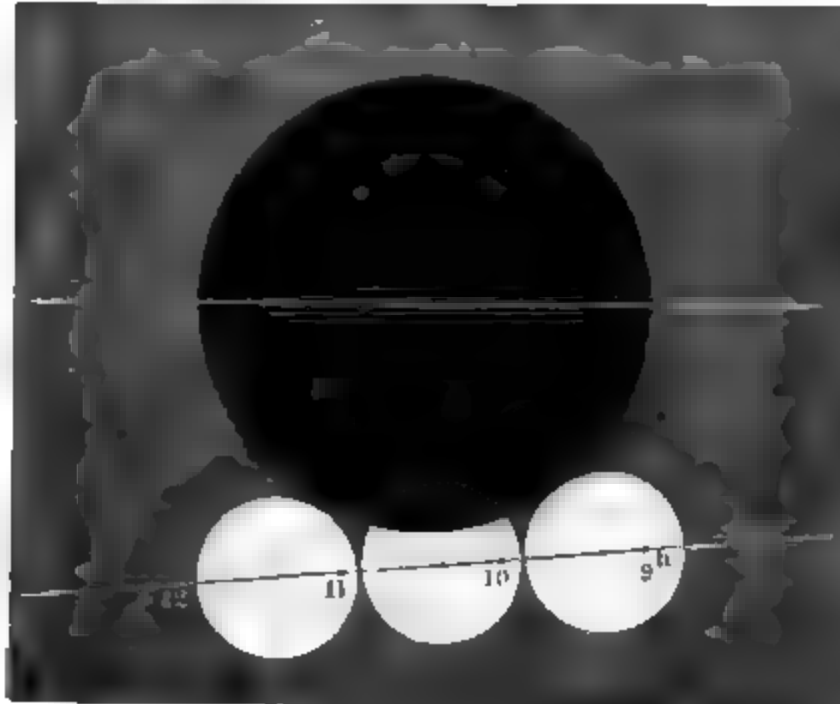
Um die Grösse einer Mondfinsterniss zu bestimmen, d. h. um zu geben, der wievielte Theil der Mondscheibe verfinstert ist, denkt sich den Durchmesser des Mondes, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Erdschattens geht, in 12 gleiche Theile getheilt, welche Zolle nennt, und giebt dann an, wie viele dieser Zolle verfinstert. So betrug das Maximum der Verfinsternung am 13. November 1845 schon 10 und 11 Zoll, am 31. März 1847 nur etwas über 3 Zoll.

Die Gränze des Erdschattens erscheint auf dem Monde stets Kreisbogen; er ist aber nie vollkommen scharf begränzt, weil eben Uebergang aus dem Kernschatten in den Halbschatten ein allmähiger

Anfangs, wenn eben der Mond in den Erdschatten einzutreten beginnt, erscheint der verfinsterte Theil des Mondes von grauer Farbe alle Flecken verschwinden. Wenn sich aber der Mond mehr und

1 Erdschatten einsenkt, geht dieses Grau in Roth über und dabei
n die Flecken wieder sichtbar, so dass, wenn die totale Finsterniss
reten ist, nun die ganze Mondscheibe eine eigenthümlich dunkel-
Färbung zeigt, in welcher sich Einzelheiten auf der Mondoberfläche

Fig. 121.



r unterscheiden lassen. In sehr ausgezeichnete Weise war diese
Färbung der verfinsterten Mondscheibe auch bei der nicht ganz
n Mondfinsterniss vom 13. October 1856 wahrnehmbar. Fig. 1 auf
XI a. ist eine möglichst treue Darstellung jener interessanten Er-
ung.

Das rothe Licht des Mondes während einer totalen oder nahe to-
Verfinsterung rührt offenbar von dem zerstreuten Lichte her, wel-
die erleuchtete Erdatmosphäre noch in den Erdschatten hineinsendet.

Die nächsten Mondfinsternisse. Im Jahre 1871 werden 74

Mondfinsternisse stattfinden, von denen jedoch nur die partielle
ifinsterniss vom 6. Januar in Deutschland sichtbar sein wird,
:war ist für Berlin

der Anfang der Finsterniss	. . . . .	8 ^h 40'
die Mitte	" "	10 ^h 10'
das Ende	" "	11 ^h 40'

iröse der Finsterniss beträgt 8,3 Zoll. Die wichtigsten Elemente

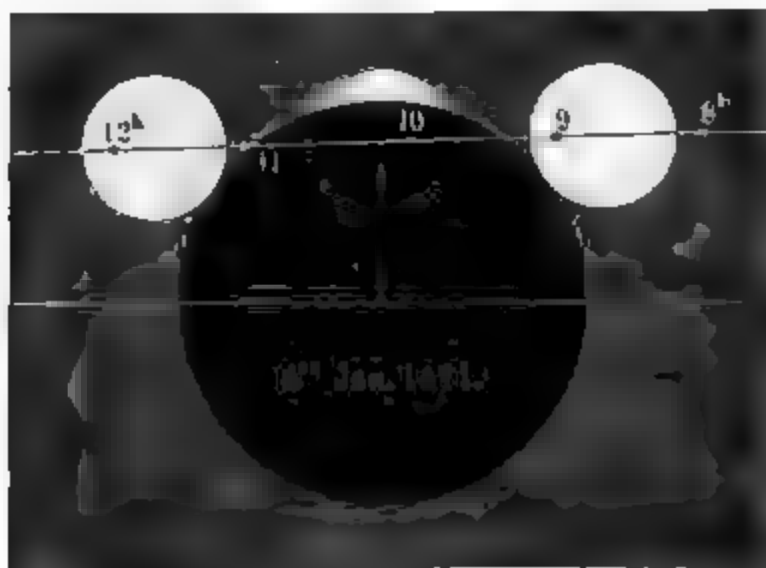
• Finsterniss sind nach dem Berliner astronomischen Jahrbuch:

☾ ☉ Jan. 6	. . . . .	10 ^h 8 ^m 31 ^s
☾ Decl.	. . . . .	23° 2,5' nördlich
☉ decl.	. . . . .	22° 28,5' südlich
☾ stündl. Bew. in AR	. . . . .	33,75'

☉ stündl. Bew. in AR	2,75'
☾ stündl. Bew. in decl.	53"
☉ stündl. Bew. in decl.	+ 18"

Nach diesen Daten ist der Verlauf dieser Finsterniss in Fig. 122 skizziert und zwar ist für je 5 Bogenminuten eine Länge von 2 Mil aufgetragen.

Fig. 122.



Im Jahre 1872 finden ebenfalls zwei Mondfinsternisse statt, w beide bei uns sichtbar sein werden, beide aber sind unbedeutend, der Mond wird kaum in den Erdschatten eintauchen. Die erste f Statt am 22. Mai. Sie beginnt um 11^h 34' Berliner Zeit und ende 12^h 49'. Nur 0,116 des Monddurchmessers wird in den Erdsch eintauchen (die Verfinsterung beträgt also nicht ganz 1½ Zoll) und geht der Mittelpunkt des Mondes nördlich von dem Erdschatten vor.

Die zweite Mondfinsterniss des Jahres 1872 findet am 14. No ber Statt, sie beginnt um 17^h 55' Berliner Zeit und endet schon 18^h 30' (Anfang 15. November Morgens 5^h 55', Ende 6^h 30' Morg Beim Maximum der Verfinsterung ist nur 0,023 des Monddurchme in das Südende des Erdschattens eingetaucht.

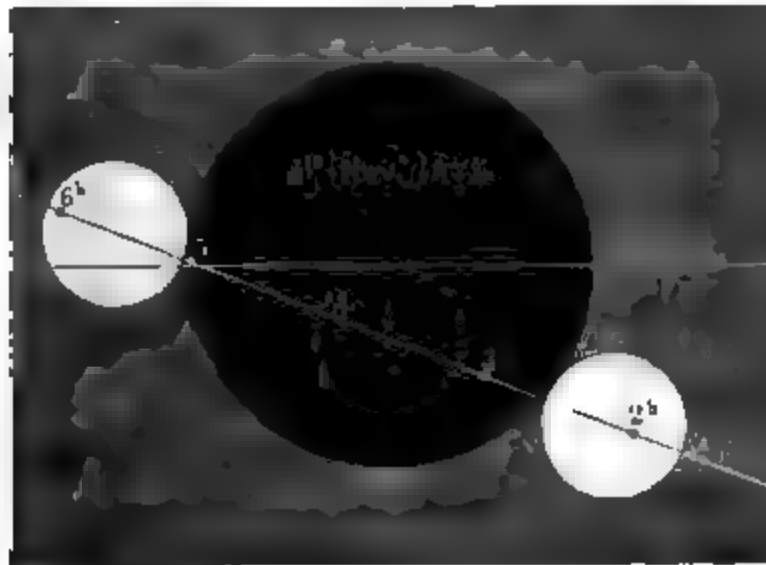
Die erste totale Mondfinsterniss des Jahres 1873 (12. Mai) is uns nicht sichtbar (die Mitte der Finsterniss findet ungefähr zur unseres Mittags Statt. Die zweite gleichfalls totale Mondfinsternis Jahres 1873 beginnt am 4. November um 3 Uhr Nachmittags und um 6 Uhr 49' Abends. Der Mond geht für Deutschland verfinstert

Die Elemente dieser Finsterniss sind nach dem Nautical Alman

☾ ☉ am 4. Nov.	3 ^h 39 ^m 41 ^s	Greenw.
☾ decl.	N 15° 17,1'	
☉ decl.	S 15° 32,8'	
☾ stündl. Bew. in AR	34,7'	
☉ " " " " " "	2,5'	
☾ " " " decl.	N 14,27'	
☉ " " " " " "	S 0,75'	

Nach diesen Daten ist die Figur 123 und zwar in gleichem Maassstab gezeichnet, wie Fig. 122. Die in der Figur angebrachten Zahlen beziehen sich auf Greenwicher Zeit. Die Greenwicher Zeit differirt von der Berliner um 53,5', d. h. man hat 53,5 Minuten zur Greenwicher Zeit zu addiren, um die entsprechende Berliner Zeit zu erhalten.

Fig. 123.



Sonnenfinsternisse sind Erscheinungen, welche einerseits den 73 Erdbedeckungen durch den Mond, andererseits den Durchgang der äusseren Planeten vor der Sonnenscheibe analog sind; sie treten ein, wenn die Erde durch den Schatten des Mondes hindurchgeht, können also nur zur Zeit des Neumondes stattfinden.

So wenig jeder Vollmond eine Mondfinsternis bringt, so wenig ereignet sich auch bei jedem Neumond eine Sonnenfinsternis, weil sich der Mond so weit von der Ekliptik entfernt, dass sein Schatten meist über oder unter der Erde vorbeistreicht, ohne sie zu treffen. Eine Sonnenfinsternis kann nur dann stattfinden, wenn der Mond zur Zeit seiner Conjunction mit der Sonne ganz in der Nähe der Ekliptik steht, oder mit anderen Worten, wenn der Neumond zu einer Zeit stattfindet, in welcher die Knotenlinie der Mondbahn nahezu mit der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde zusammenfällt, wie bei *T* Fig. 117 Seite 176.

Im Mittel ist der scheinbare Durchmesser des Mondes 31,5, der der Sonne 32 Minuten, die Spitze des Mondkernschattens reicht demnach nicht immer bis auf die Erde. Wenn aber die Sonne in ihrer Erdferne, der Mond gerade in seiner Erdnähe ist, so ist der scheinbare Durchmesser der Sonne 31,5, der des Mondes 34 Minuten, und in diesem Falle ist der Kernschatten des Mondes länger als der Abstand der Erde von demselben; der Kernschatten trifft also noch auf die Erdoberfläche, wie dies auch in der schematischen Fig. 124 (a. f. S.) der Fall ist, in welcher *S* die Sonne, *L* den Mond und *T* die Erde darstellt.

An den gerade vom Kernschatten des Mondes getroffenen Stellen

Erstes Buch. Fünftes Capitel.

der Erde ist die Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt, es findet eine totale Sonnenfinsterniss an diesen Orten Statt.

Für denjenigen Ort der Erde, von welchem aus gesehen die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes sich decken, ist die Finsterniss eine centrale: natürlich kann sie nur für einen Augenblick central sein. Die centrale Finsterniss ist zugleich eine ringförmige, wenn gerade der scheinbare Durchmesser des Mondes kleiner ist als der scheinbare Durchmesser der Sonne.

Fig. 125 stellt die ringförmige Sonnenfinsterniss vom 15. März 1858 dar, wie sie z. B. in Oxford erschien.

Der Kernschatten des Mondes ist von einem Halbschatten umgeben, dessen Durchmesser mit der Entfernung vom Monde zunimmt, wie die Figur 124 zeigt. An der Stelle, an welcher die Erde in denselben eintreten kann, ist der Durchmesser seines Querschnittes ungefähr dem Halbmesser der Erde gleich; er ist kleiner, wenn der Kernschatten des Mondes die Erde noch trifft, grösser, wenn dies nicht mehr der Fall ist. An solchen Orten der Erdoberfläche, welche in dem Halbschatten des Mondes liegen, erscheint nur ein Theil der Sonnenscheibe durch den Mond verdeckt: hier ist die Sonnenfinsterniss eine partielle.

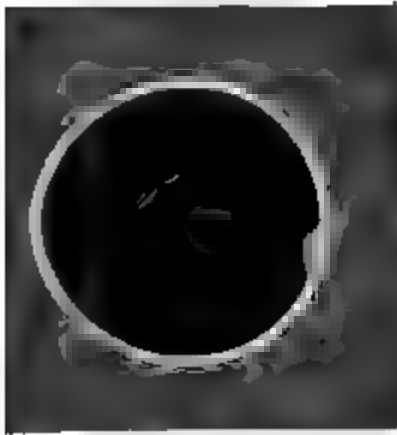
Um die Grösse der Bedeckung bei einer partiellen Finsterniss anzugeben, denkt man sich den Durchmesser der Sonne, welcher in die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Sonnen- und Mondscheibe fällt, in 12 gleiche Theile (Zolle) getheilt und giebt dann an, wie viele Zolle verdeckt sind. So zeigt Fig. 126 eine Verfinsterung von 3, eine solche von 6 und endlich eine solche von 9 Zoll.

Eine Mondfinsterniss bietet auf der ganzen Erdoberfläche, für welche sich der in den Erdschatten eingetauchte Mond über dem Horizont befindet, ganz den gleichen Anblick dar. Der Moment, in welchem man den Mond gerade in den Erdschatten eintreten sieht, ist derselbe für alle Orte der Erde, an denen überhaupt das Phänomen sichtbar ist. Ebenso sehen die Beobachter der verschiedensten Gegenden den Mond in demselben Moment wieder aus dem Schatten hervortreten. Ganz anders verhält es sich bei Sonnen-



ernissen. Während an einem Orte eine totale Sonnenfinsterniss findet, beobachtet man in benachbarten Gegenden nur eine partiale, weiter entfernten gar keine Sonnenfinsterniss; ebenso sind die Zeitpunkte, welchen die Sonnenfinsterniss beginnt und endet, für verschiedene auf der Erde nicht dieselben.

Fig. 125.

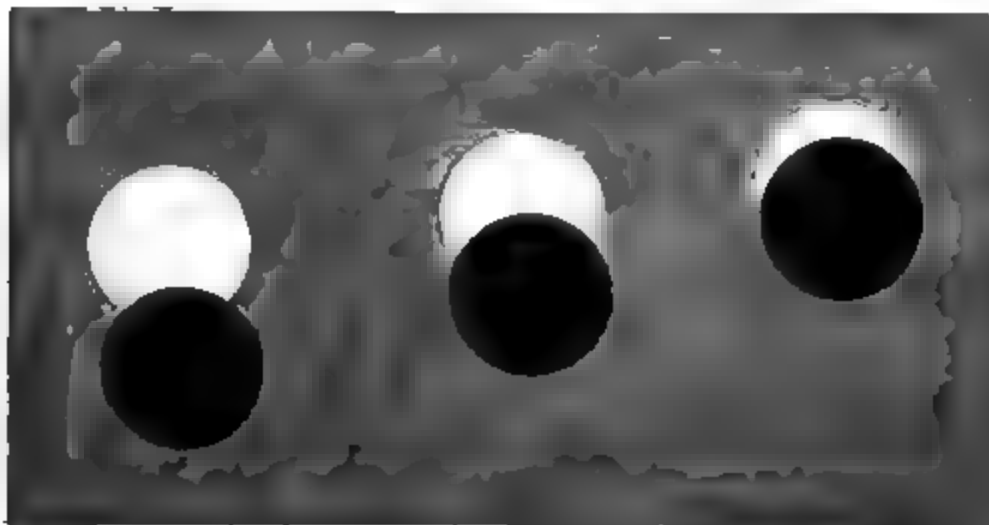


Die eben angedeuteten Verhältnisse werden am besten erläutert, wenn wir den Vorgang irgend einer speciellen Sonnenfinsterniss näher betrachten, und besonders, wenn wir untersuchen, welches der Verlauf der Erscheinung, vom Mond aus betrachtet, sein wird.

Am 4. April 1856 fand eine in Australien sichtbare Sonnenfinsterniss statt. Dem Berliner astronomischen Jahrbuche zufolge war der Moment der Conjunction von Sonne und Mond am 4. April $18^h 43' 35''$ Berliner

In diesem Augenblick war die geocentrische Länge der Sonne und Mondes (nämlich der Mittelpunkt beider Himmelskörper) $15^\circ 38' 21''$. heliocentrische Länge des Mittelpunktes der Erde sowohl wie des die Erde fallenden Mondschattens war demnach in dem fraglichen Orte $195^\circ 38' 21''$; die gleichzeitige südliche Breite des Schattenpunktes war $48' 24,6''$.

Fig. 126.



In Fig. 5 auf Tab. X., welche nach demselben Maassstabe gezeichnet wie die Figuren 119 bis 121, stellt AB ein Stück der Ekliptik, C Mittelpunkt der Erde und m den Mittelpunkt des Mondschattens den Moment der Conjunction dar. Zur Zeit jener Finsterniss war dem Berliner astronomischen Jahrbuche zufolge die Horizontalparallaxe des Mondes gleich $61' 9,6''$, ein mit dem Halbmesser $61,1'$ um den Mittelpunkt beschriebener Kreis stellt also den Umfang der vom Monde aus betrachteten Erdkugel dar, wenn die weissen Kreise in den Figuren 119 bis 121 den Mond darstellen, wie wir ihn von der Erde aus sehen.

Die Figur zeigt uns nun die Erdhälfte, welche im Moment der fraglichen Conjunction gerade der Sonne zugewandt war. Der Kernschatten des Mondes fiel in diesem Augenblick auf die südwestliche Spitze von Neuhollland: hier, innerhalb des kleinen schwarzen Kreises, fand eben eine totale Sonnenfinsterniss Statt.

Dieser Kernschatten war aber von einem Halbschatten umgeben, welcher den grössten Theil von Neuhollland bedeckte und sich nördlich bis zur Insel Java erstreckte. An allen Orten, welche innerhalb dieses Halbschattens lagen, fand eine partiale Sonnenfinsterniss Statt, und zwar war der von dem Monde bedeckte Theil der Sonnenscheibe um so kleiner, je weiter man von dem Kernschatten entfernt war. Ueber die Gränzen des Halbschattens hinaus, also in ganz Asien und Afrika, fand keine Bedeckung der Sonnenscheibe Statt.

Unsere Figur stellt den auf die Erde fallenden Mondschatten nur für einen bestimmten Moment dar; vor und nach diesem Zeitpunkte aber musste der Schatten auf andere Gegenden fallen, wie man leicht erkennen kann, da der Mittelpunkt des Mondschattens in der Richtung der Linie *DF* fortschritt, während gleichzeitig die Erde in der Richtung des kleinen am Aequator gezeichneten Pfeiles um ihre Axe rotirte. Auf der Linie *DF* sind die Punkte bezeichnet, in denen sich der Mittelpunkt des Mondschattens um 16^h, 17^h n. s. w. bis 21^h (Berliner Zeit) befand. Der Mondschatten traf die Erde zuerst, als der Mittelpunkt desselben sich in *a* befand, um 16^h 36' Berliner Zeit, also zu einer Zeit, in welcher ungefähr der 131. Längengrad (etwas östlich von der Ostküste China) in der Mitte der erleuchteten Erdhälfte lag, und für die Stelle, wo der Erdäquator die Ostküsten Afrikas schneidet, die Sonne eben aufging. Das Ende der Finsterniss fand statt, als der Mittelpunkt des Mondschattens in *b* angelangt war, was um 21^h 8' Berliner Zeit statt fand bis zu welchem Zeitpunkt sich dann die Erde so weit um ihre Axe gedreht hatte, dass nun die Sonne auf dem 74. Längengrade östlich von Ferro culminirte, also der Eingang des persischen Meerbusens, das Uralgebirge und Nowaja-Semlia Mittag hatten und die Sonne für den östlichen Theil von Neu-Guinea und Neuhollland bereits untergegangen war.

Ohne auf eine genauere Bestimmung des Weges, welchen der Kernschatten des Mondes auf der Erdoberfläche zurücklegte und der Gränzen einzugehen, innerhalb welcher die Finsterniss vom 4. April 1856 sichtbar war, ist aber doch aus dem bisher Gesagten mit Hülfe der Figur 5 u. Tab. X klar, dass die fragliche Sonnenfinsterniss überhaupt in Neuhollland und den nördlich und östlich davon gelegenen Inseln sichtbar war, da aber die Linie der centralen Verfinsternung Neuhollland durchschneitt.

Da der Mondschatten auf der Erde von Westen nach Osten fortschreitet, so ist klar, dass wir den Mond auf der Westseite der Sonnenscheibe ein-, auf der Ostseite derselben austreten sehen.

Wo eine Sonnenfinsterniss wirklich total wird, entsteht eine ganz eigenthümliche Dunkelheit, der Himmel erscheint grau und man erblickt

ne der helleren Sterne. Die schwarze Mondscheibe ist von einer breiten Lichtung umgeben, von welcher aus sich gelbliche Strahlen verbreiten.

Von der totalen Sonnenfinsterniss, welche im August 1868 im südlichen Asien stattfand und von der eigenthümlichen Erscheinung des Sonnenkranzes, welche man während einer totalen Sonnenfinsterniss nimmt, wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein.

Für ein eingehenderes Studium der Sonnen- und Mondfinsternisse empfehle ich von Dr. A. Drechsler im Jahre 1858 zu Dresden über diesen Gegenstand erschienenenes Werkchen zu empfehlen.

Die nächsten Sonnenfinsternisse. Am 17. Juni 1871 findet für Deutschland unsichtbare, ringförmige Sonnenfinsterniss statt; sie ist in dem indischen Ocean und der Südsee sichtbar. Die Bahn der ringförmigen Phase geht nördlich von der Nordostküste von Australien vorüber und durchschneidet Neu-Guinea.

Am 11. December 1871 findet eine gleichfalls für Deutschland unsichtbare aber totale Sonnenfinsterniss statt. Sie ist im südlichen Asien und Australien sichtbar und die Linie der totalen Verfinsterung ungefähr von der südöstlichsten Spitze Arabiens nach der Südspitze Vorderindien, durchschneidet Sumatra und streift die Südküste von Neu-Guinea.

Im Jahre 1872 finden abermals zwei Sonnenfinsternisse statt, welche theils in Europa unsichtbar bleiben. Die erste derselben ist eine partielle ringförmige Finsterniss, welche in ganz Asien sichtbar ist. Die Linie der centralen Verfinsterung durchschneidet die Mitte von Vorderindien und verlässt nördlich von Korea den asiatischen

Continent. Die zweite, totale Sonnenfinsterniss (30. November) ist überhaupt nur im südlichen Theile von Südamerika sichtbar. Die Bahn der totalen Verfinsterung trifft keinen Continent, sie läuft südlich von Cap Horn vorüber.

Erst das Jahr 1873 bringt uns wieder eine in Europa sichtbare totale Sonnenfinsterniss und zwar am 25. Mai. Sie ist in ganz Europa mit Ausnahme des südlichen Italiens, der europäischen Türkei und des südöstlichen Theils des europäischen Russlands sichtbar. Der Kern des Mondes trifft die Erde gar nicht, er geht über dem Nordpol der Erde vorüber.

Die zweite partielle Sonnenfinsterniss des Jahres 1873 (19. Nov.) ist auf der südlichen Hemisphäre sichtbar.

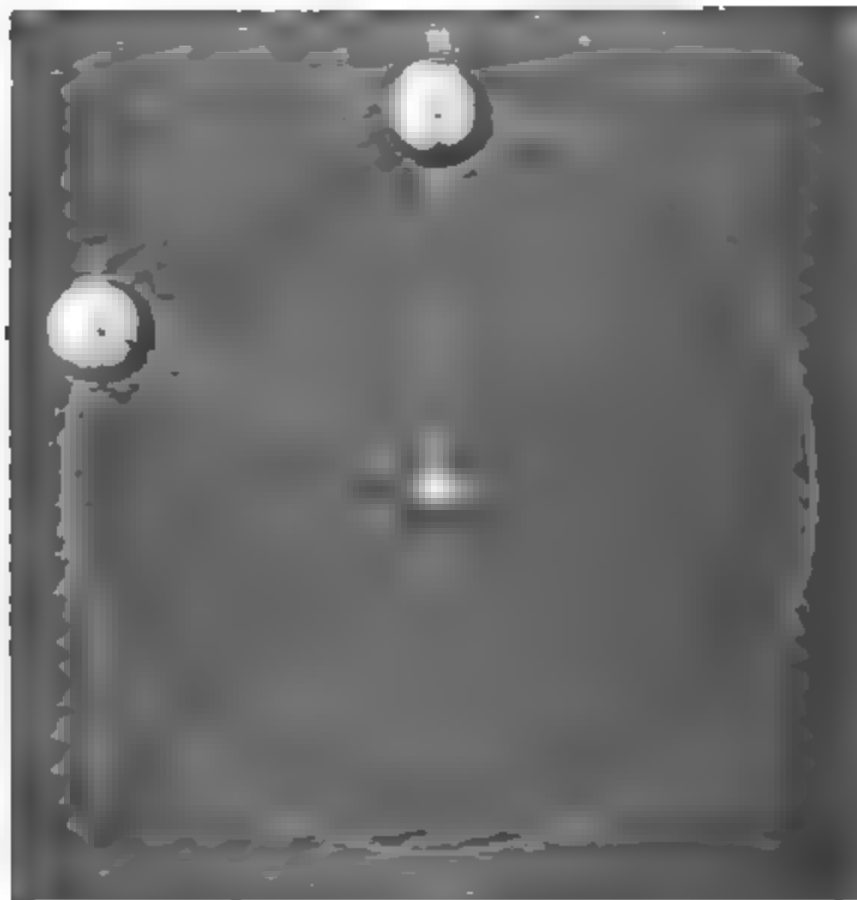
Axendrehung des Mondes. Schon mit blossen Auge unter der Lupe lässt man auf der Mondscheibe Flecken, welche dem Monde eine bestimmte Zeichnung geben. Diese Zeichnung bleibt nun stets unverändert, die einzelnen Flecken behalten ihre Stellung auf der Mondoberfläche, geringe Schwankungen abgerechnet, unverändert bei; ein Flecken,

welcher einmal in der Mitte der Scheibe liegt, wird uns immer an die Stelle erscheinen, er rückt nie an den Rand: bestimmte Flecken von immer am westlichen, andere werden stets am östlichen Rande bleiben, der Mond wendet uns immer dieselbe Seite zu.

Es kommt uns also nur die eine Hälfte der Mondoberfläche zu Gesicht, die andere Hälfte bleibt uns stets unsichtbar.

Nach dieser Beobachtung läßt es sich nun leicht ausmitteln, wie sich mit der Axendrehung des Mondes verhält. In Fig. 127 sei T Erde, M die Stellung des Mondes in irgend einem beliebigen Augenblick. Wenn nun der Punkt a derjenige ist, welcher, von der Erde aus gesehen gerade die Mitte der Mondoberfläche bildet, so muß dieser Punkt in

Fig. 127.



Stellung a' kommen, während der Mond von M bis M' in seiner Fortschreitung, wenn stets derselbe Punkt die Mitte der von der sichtbaren Mondhälfte bilden soll.

Fände während der fortschreitenden Bewegung des Mondes keine Axendrehung desselben statt, so müßte der Punkt a an die Stelle b gelangen, während der Mond von M bis M' fortschreitet, so daß selbe Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage ca hatte, nun die parallele Richtung $c'b$ einnimmt. Wir haben aber gesehen, daß der fragliche Radius jetzt, wo der Mond in M' angekommen ist, die Lage $c'a'$ während also der Mond von M nach M' fortgeschritten ist, hat er sich um den Winkel $bc'a'$ gedreht, welcher offenbar dem Winkel cTc' gleich

Aus der Thatsache, dass der Mond der Erde stets dieselbe Seite zu-
det, ergibt sich also, dass er eine Axendrehung hat und dass er die
drehung um seine Axe in derselben Zeit vollendet, in welcher er
e Bahn um die Erde zurücklegt, die Rotationsdauer des Mondes ist
seiner siderischen Revolution gleich.

Dieser langsamen Axendrehung entsprechend hat der Mond keine
nd wahrnehmbare Abplattung.

Libration des Mondes. Obgleich uns im Wesentlichen stets 78
elbe Mondhälfte zugekehrt ist, so finden doch kleine Schwankungen
der Stellung der Mondoberfläche gegen die Erde Statt; bald sehen
etwas weiter auf die Westseite, dann wieder etwas mehr auf die Ost-
e der Mondkugel; bald ist uns der Nordpol des Mondes und dann
der der Südpol desselben etwas mehr zugewandt; kurz der grösste
is, welcher die uns sichtbare Mondhälfte begränzt, hat auf der Mond-
el keine absolut feste Lage, sondern er wird sowohl in der Richtung
Ost nach West, als auch in der Richtung von Nord nach Süd etwas
und her geschoben. Man bezeichnet diese Erscheinung mit dem
nen der Libration.

Insofern die erwähnte Schwankung in der Ebene des Mondäquators
tfindet, so dass alle Längengrade des Mondes für den Beschauer auf
Erde bald etwas mehr nach Osten, dann wieder etwas mehr nach
ten gedreht erscheinen, nennt man sie Libration der Länge,
rend die rechtwinklig zum Mondäquator stattfindenden scheinbaren
wankungen Libration der Breite genannt werden.

Die Libration der Länge rührt daher, dass der Mond sich in einer
pse um die Erde bewegt, während seine Axendrehung stets mit gleich-
niger Geschwindigkeit vor sich geht.

Fig. 128 stelle die elliptische Mondbahn dar, in deren einem Brenn-
kte T die Erde steht. Zur Zeit des Perigäums steht der Mond in M ,
 a ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die
te der Mondscheibe einnimmt. Nachdem nun der vierte Theil der
zen Umlaufszeit verflossen ist, befindet sich der Mond in M' ; er hat
r unterdessen eine Drehung von 90° um seine Axe gemacht, der
adhalbmesser, welcher vorher die Lage ca hatte, wird sich also jetzt
ler Lage $c'a'$ befinden; dieser Radius ist aber jetzt nicht mehr der-
ge, dessen Verlängerung gerade zur Erde hinführt, sondern b ist der
kt, welcher, von der Erde aus gesehen, die Mitte der Mondscheibe
nimmt, die Mondoberfläche erscheint also gegen die Erde um den
inkel $bc'a'$ nach Osten gedreht.

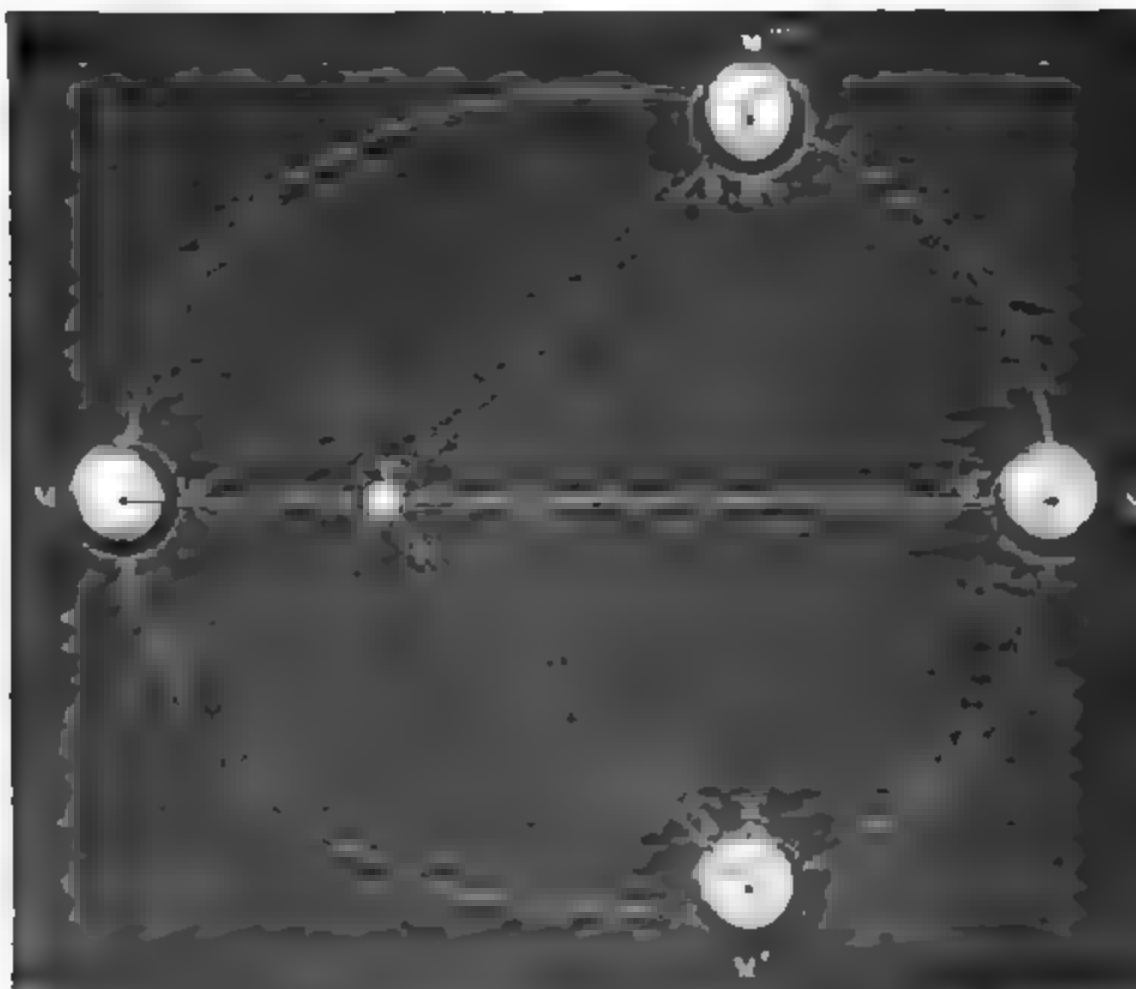
Ist der Mond im Apogäum, also in M'' , angelangt, so ist, von dem
ment des Perigäums aus gerechnet, die Hälfte seiner ganzen Umlaufs-
verflossen; in dieser Zeit hat er aber eine Drehung von 180° um
e Axe gemacht, der Punkt a nimmt also wieder die Mitte der Mond-
eibe ein, während derselbe Punkt sich in a''' befindet, also um den

Winkel $b'c''a''$ nach Westen gedreht erscheint, wenn der Mond M'' gelangt ist.

Die Libration der Länge (also der Winkel $b'c'a'$ oder $b'c''a''$) bis zu $7^{\circ}53'$ auf jeder Seite wachsen.

Wäre die Mondaxe genau rechtwinklig zur Mondbahn, so würden wir nur die Libration der Länge wahrnehmen: nun aber macht Mondäquator mit der Ebene der Mondbahn einen Winkel, welcher Mittel $6^{\circ}38'$ beträgt, und so kommt es, dass die Mondpole nicht — es bei streng senkrechter Lage seiner Axe sein würde — im Rand

Fig. 12.



scheinen, sondern uns abwechselnd etwas zu- und abgewandt sind und der Nordpol des Mondes zugewandt, so werden alle Flecken nach Süden rücken, mehr nach Norden aber, wenn gerade der Mond uns zugekehrt ist, und so ist also die Libration der Breite, welche Maximum $6^{\circ}47'$ beträgt, eine Folge von der schiefen Stellung der Mondaxe gegen seine Bahn.

Es ist klar, dass die Ansicht der Mondscheibe, von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen, nicht genau dieselbe ist, die aus Ursache stammenden Variationen werden parallaxische Librationen genannt.

Die Oberfläche des Mondes. Mit unbewaffnetem Auge oder 79
 b durch ein ganz schwach vergrößerndes Fernrohr betrachtet, er-
 schein der Vollmond als eine weisse Scheibe, welche mit mehreren grauen
 Flecken bedeckt ist; man hielt früher diese dunkleren Stellen für Meere,
 hellere für Land, und obgleich man sich später davon überzeugte,
 daß auf dem Monde keine Meere sind, so haben diese dunklen Partien
 doch ihre alten Namen beibehalten, und so findet man denn auf den
 Mondkarten noch immer ein Mare humorum, ein Mare nubium u. s. w.
 unserer Mondkarte, Tab. XI., sind bezeichnet:

Mare nubium mit a,	Mare tranquillum mit e,
Mare humorum „ b,	Mare crisium „ f,
Mare imbrium „ c,	Mare foecunditatis „ g,
Mare serenitatis „ d,	Mare nectaris „ h.

Wenn man den Mond durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet
 man unverkennbare Erhöhungen und Vertiefungen, kurz Berge, welche
 sich nur an solchen Stellen deutlich unterschieden werden können,
 die an der Gränze der Lichtphasen liegen, also nur in denjenigen
 Gegenden, für welche die Sonne eben auf- oder untergeht. Die
 Berge werfen dann mehr oder minder lange Schatten, deren schwarze,
 scharf endende Gestalten einen überaus schönen Anblick gewäh-
 ren, wie dies die beiden unteren Figuren auf Tab. XI. n. anschaulich
 zeigen sollen, welche, wie auch zum Theil die folgenden Schilderungen,
 aus dem Werk von Julius Schmidt über den Mond entnommen, zwei
 Stellen an der Gränze der Erleuchtung liegende Mondlandschaften dar-
 stellen. Die tiefen Krater und Ringgebirge sind noch von Nacht erfüllt;
 nur amglänzt sie als schmaler Goldsaum der höchste Kamm des schon
 erleuchteten Wulles und oft ragt sternähnlich der Gipfel eines Central-
 berges aus der Finsterniss der Tiefe empor, den eben erst das Licht der
 Sonne getroffen hat. Mit dem Steigen der Sonne verändert sich die
 Lage; die Schatten werden kürzer und mit dem Verschwinden der letzten
 Resten verliert sich die Schärfe der Umrisse, so dass bei voller
 Erleuchtung alle die Einzelheiten verschwinden, welche man an der
 Gränze zwischen der erleuchteten und der dunklen Hälfte wahrgenommen
 hat. — Der Vollmond zeigt nur Differenzen des Lichts und der Farbe.
 Der Haupteindruck gewähren die dunklen Flächen, welche schon dem
 unbewaffneten Auge sichtbar sind und in welchen sich, von einzelnen
 Stellen ausgehend, schmale Lichtstreifen verbreiten. Aber das unend-
 liche Detail von Bergen, Hügeln und kleinen Kratern, welches zur Zeit
 der Phasen den Beobachter in Erstaunen setzte, ist auf dem Vollmond
 ganz verschwunden.

Hevel hatte den Mondbergen die Namen irdischer Gebirge beige-
 geben, während Riccioli es vorzog, die Nomenclatur Hevel's zu verlassen,
 indem er die Mondberge nach berühmten Männern und namentlich nach
 Astronomen benannte. Diese Bezeichnung ist bis jetzt allgemein in Ge-
 brauch geblieben und so finden wir denn auf unseren Mondkarten einen

Archimedes, einen Kepler, Tycho, Manilius, Galiläi u. s. w., während nur einige Bergketten die Namen irdischer Gebirge behalten haben.

Wendet man das Fernrohr auf eine gerade gut beleuchtete Gebirgslandschaft des Mondes, so fällt selbst dem ungeübtesten Beobachter das Vorherrschen kreisförmiger Gebilde auf, welche sich in Tausenden von Beispielen in grösserem und kleinerem Maassstabe wiederholen und mit dem gemeinschaftlichen Namen der Ringgebirge bezeichnet werden. In unserer Mondkarte Tab. XI. sind diese ringförmigen Bildungen deutlich zu erkennen, der Maassstab derselben ist der Art, dass 10 Meilen auf der Karte eine Länge von 3,8 Millimeter einnehmen, 1 Meile also nahezu durch eine Länge von 0,4 Millimeter dargestellt wird. Die am gezeichnetsten Ringgebirge sind auf Tab. XI. mit Ziffern bezeichnet, denen folgende Namen entsprechen:

1. Archimedes,	8. Purbach,	15. Galiläi,
2. Plato,	9. Regiomontan,	16. Grimaldi,
3. Copernicus,	10. Ptolemäus,	17. Aristarch,
4. Kepler,	11. Apian,	18. Autolicus,
5. Gassendi,	12. Frascator,	19. Aristippus,
6. Tycho,	13. Plinius,	20. Eratosthenes,
7. Arzach,	14. Manilius,	21. Aristoteles.

Die schon erwähnten Mondlandschaften auf Tab. XI. a. stellen die entsprechenden Gegenden dar, wie sie bei günstigster Beobachtung durch stark vergrössernde Fernrohre gesehen werden; sie sollen dazu dienen den Charakter der Gebirgsbildungen auf dem Monde zu erläutern und zwar bietet die Landschaft links ein Beispiel von Kettengebirgen, während in der Landschaft rechts kraterartige Bildungen entschieden vorherrschend sind.

Die grösseren Ringgebirge, deren Durchmesser oft über 30 Meilen beträgt, nennt man Wallebenen. Es sind dies grössere, nahezu ebene Regionen, welche von einem sich mehr oder weniger der Kreisform nähernden Gebirgswall umschlossen sind. Dieser Gebirgswall erscheint aber vielfach zerklüftet und durch kleinere Krater unterbrochen, während auch im Innern dieser Wallebenen Hügel und kleine Krater auftreten.

Clavius und Maginus, welche auf Tab. XI. a. in der Figur unten rechts mit 1 und 2 bezeichnet sind, können als charakteristische Beispiele solcher Wallebenen dienen.

An diese Wallebenen schliessen sich in Betreff der Grössenverhältnisse zunächst die grossen Krater von 5 bis 12 Meilen Durchmesser an, welche sich durch eine grössere Annäherung an die Kreisform und namentlich durch eine bedeutende Vertiefung des Beckens, welche sie mit den kleineren Kratern gemein haben, vor den Wallebenen auszeichnen. Der meist mauerartige Wall zeigt eine grosse Regelmässigkeit und ist selten durch kleinere Krater unterbrochen, nach Innen aber mit

alten bis fünffachen Terrassen besetzt. In der Mitte des Beckens steht sich meist ein einfacher Berg, der aber selten die Höhe des Beckens erreicht.

Diese grösseren Krater sind auch noch durch grosse Helligkeit des inneren Saumes und oft durch ein Strahlensystem ausgezeichnet, welches von ihnen aus bis weit in die grauen Ebenen erstreckt. — Zu den grössten Kratern dieser Classe gehören Tycho (Nro. 3 in der ersten Mondlandschaft), Copernicus, Aristoteles u. s. w. Zu den kleineren Kepler, Aristarch, Manilius u. s. w.

Die kleinen Krater, deren Zahl auf der uns zugewandten Seite des Mondes auf 50 000 steigt, kommen ohne Ausnahme in allen Gegenden vor und erscheinen vielfach als Unterbrechung der grösseren Gebirgsformen, weshalb man sie als die jüngsten Mondgebilde betrachtet.

An diese Kraterbildungen schliessen sich die Rillen an, welche man gewissermaassen als Längenskrater bezeichnen kann und welche als tiefe Furchen, als grabenartige, weit sich erstreckende Vertiefungen angesehen werden können. Die Rillen, nur durch die besten Fernrohre sichtbar, sind 20 Meilen lang, 1800 bis 12 000 Fuss breit und 300 bis 1200 Fuss tief. Obgleich die Ringgebirge auf dem Monde die vorherrschenden sind, so scheinen doch auch Bergmassen, welche ohne besondere Ordnung aufgethürmt erscheinen und die man Massen- oder Kettengebirge nennen kann. Diese Gebirge sind aber, wenn auch in ihrem Zuge eine bestimmte Richtung vorherrscht, sehr von den grossen Gebirgszügen der Erde verschieden, denn die Kettengebirge des Mondes erscheinen nur als unregelmässig zusammengestellte und aufgethürmte Berggipfel, an denen wir Gebirgstäler und Kämme im Sinne unserer irdischen Gebirge vergebens suchen.

Das Mondgebirge *Kaukasus*, von welchem ein Theil in der Mondlandschaft erscheint, welche auf Tab. XI a. unten links steht, mag als Beispiel derartiger Gebirgsbildungen dienen. Die in dieser Landschaft bezeichnete Parthie ist ein Theil des *mare serenitatis*.

Wenden wir uns endlich zu den schon flüchtig erwähnten Strahlensystemen des Mondes, welche sich von gewissen Punkten radienartig vertheilen und beim Vollmond in den grauen Ebenen besonders auffällig erscheinen.

Sie erscheinen im Gebirge, in den Kratertiefen, in den grauen Ebenen nur als Modification der Bodenfarbe; sie verschwinden in der Nähe der Lichtgränze, ohne auch nur eine Spur eines Schattens zu hinterlassen, folglich sind sie weder Erhöhungen noch Vertiefungen.

Die Höhen der Mondgebirge kann man auf zweierlei Art ermitteln, entweder aus der Länge der Schatten oder, wenn ein erleuchteter Berggipfel ringsum noch von Nacht umgeben ist, aus dem Abstand des hellen Gipfels von der allgemeinen Lichtgränze. Auf diese Weise hat schon Lalande die Höhe einiger Mondberge ziemlich genau bestimmt. Nach den besten Messungen sind folgende die höchsten Kuppen der Massengebirge:

Dörfel . . .	23 000	Pariser Fuss
Apenninen . .	17 000	" "
Kaukasus . .	17 000	" "

Folgendes sind die Höhen einiger Ringgebirge:

Newton . . .	22 000	Pariser Fuss
Tycho . . .	16 000	" "
Copernicus . .	11 000	" "
Aristarch . .	6 000	" "

Die Mondgebirge kommen also an Höhe den bedeutendsten Gipfeln der Erde sehr nahe.

Die Schatten der Mondberge sind vollkommen schwarz, & man an den vom Schatten bedeckten Stellen auch nicht das allermü Detail zu erkennen im Stande ist. Wo also auf dem Monde die So strahlen nicht unmittelbar hintreffen, ist absolute Nacht. Die allge Tageshelle, welche in dem Schatten irdischer Gegenstände herrscht auf dem Monde ebenso wie jede Spur von Dämmerung, woraus b geht, dass der Mond keine Atmosphäre hat, dass auf der M oberfläche also auch kein Wasser vorhanden sein kann, Dämpfe ja für sich schon eine Atmosphäre herstellen würden. Au Monde ist demnach auch ein organisches Leben der Art, wie es a Erdoberfläche vorkommt, ganz unmöglich.

Es ist bereits §. 70 S. 171 bemerkt worden, dass das Versch und Wiedererscheinen von Sternen, über welche der Mond glei wegschreitet, ganz plötzlich ist, d. h. dass sie, ehe sie mit dem rande in Berührung kommen oder nachdem sie denselben verlassen keinerlei Ablenkung von der Stelle erfahren, an welcher man sie ohne die Annäherung des Mondes sehen würde. Auch diese Th beweist die gänzliche Abwesenheit einer Mondatmosphäre.

80 Darstellungen der Mondoberfläche. Schon Galiläi versucht, eine bildliche Darstellung der Mondoberfläche zu geben, & Nuntius sidereus publicirten Mondbilder von ungefähr 7 Centi Durchmesser sind aber ebenso wie die Scheiner'schen noch höch vollkommen. •Die erste, einigermaassen brauchbare Mondkarte b Hevel im Jahre 1643 zu Stande, und veröffentlichte sie nebst 40 P zeichnungen in seiner Selenographie. Hevel's Mondkarte blie ger als 100 Jahre die beste. Erst Tob. Mayer in Göttingen ga kleine aber höchst sorgfältig nach wirklichen Messungen gerei Mondkarte heraus, welche wieder bis auf die neueren Zeiten die blieb. In seinen selenographischen Fragmenten (1791) gab S ter zahlreiche Darstellungen einzelner Parthien der Mondoberfläc deren Aufnahme er aber nicht objectiv genug verfuhr, wodurch der derselben wesentlich beeinträchtigt wurde.

Im Jahre 1824 erschienen 4 Blätter einer von Lohrmann nach eigenen Principien aufgenommenen und gezeichneten Mondkarte, welche erst ein Neuntel der ganzen uns sichtbaren Mondoberfläche darstellte. Das Werk blieb unvollendet. Im Jahre 1838 erschien eine sehr werthvolle Lohrmann'sche Generalkarte des Mondes.

Im Jahre 1830 begannen Beer und Mädler eine nach Lohrmann's aber ausschliesslich auf eigene Beobachtungen gegründete Mondkarte anzufertigen, welche im Jahre 1836 in 4 Blättern unter dem Titel *Atlas selenographica* erschien und das vollendetste ist, was bis jetzt in dieser Beziehung geleistet wurde. Der Durchmesser dieser, die feinsten Details zeigenden Mondkarte beträgt 3 Fuss.

Vortreffliche in grösserem Maassstab ausgeführte Karten einzelner Mondlandschaften hat auch Julius Schmidt in Athen veröffentlicht.

Die grosse Mondkarte von Beer und Mädler zu Grunde legend, hat Conservator Dickert in Bonn ein 18 Fuss im Durchmesser haltendes Relief der uns sichtbaren Mondhälfte ausgeführt. Auf einer Hohlkugel aus Holz sind 116 gegossene Gypsplatten von je 15 Grad Länge und 15 Grad Breite genau aneinander gefügt, auf deren Oberfläche die entstehenden Gebirgsparthien in erhabener Arbeit dargestellt sind. Die horizontalen Dimensionen der Gebirge sind in $\frac{1}{600000}$, die Höhen aber in dreifachem Maassstab, also in $\frac{1}{200000}$ der natürlichen Grösse ausgeführt. Dieses Relief, welches seiner Zeit in verschiedenen Städten Deutschlands gezeigt wurde, giebt eine überraschend lebhafte Anschauung der Mondoberfläche. — Einzelne Parthien dieses Reliefs, z. B. Copernicus, Tycho, Plato u. s. w., mit ihren nächsten Umgebungen werden einzeln verkauft und geben ein treffliches Bild der Kraterbildung auf dem Monde. Es wäre sehr zu wünschen, dass Reliefs der ganzen sichtbaren Mondhälfte in kleinerem Maassstabe, etwa 2 bis 3 Fuss im Durchmesser, angefertigt und in den Handel gebracht würden.

Ein neues vortreffliches Mittel zur getreuen Darstellung der Mondoberfläche liefert die Photographie. Bereits im Jahre 1857 stellte Warren de la Rue eine Reihe ausgezeichneter Mondphotographien, von denen unter anderen eine Collection von 12 allerliebsten Phasenbildern durch Smith, Beck und Beck in London veröffentlicht wurden. Obwohl in diesen kleinen Bildern der Durchmesser des Mondes nur 1 Centimeter beträgt, so sind doch einzelne Krater und Ringgebirge mit überraschender Schärfe und Deutlichkeit erkennbar. Von wissenschaftlichem Werthe können aber nur grössere Phasenbilder dieser Art sein, deren Warren de la Rue gleichfalls mehrere ausgeführt hat, von denen nur zu wünschen wäre, dass sie durch den Buchhandel leichter zugänglich gemacht würden.

Eine ganz ausgezeichnete Photographie des Mondes ist diejenige, welche Rutherford in New-York am 6. März 1865 drei Tage nach dem ersten Viertel aufnahm. Der Mond erscheint in diesem Bilde in dem Durchmesser von 53 Centimetern; in ausgezeichneter Schärfe zeigt

es die Ringgebirge in der Nähe der Lichtgränze, so namentlich P Archimedes, Aristippus und Antolikus, Eratosthenes, Copernicus, Ptolemäus, Alphons, Tycho und Andere.

Der Durchmesser des Plato ist auf diesem Bilde 15 Milli der des Archimedes ist 12, der des Copernicus ist 14 Milli lang. Der innere Flächenraum des Plato ist noch ganz dunkel, während das ihn umfassende Ringgebirge, namentlich aber der innere östliche Abfall desselben hell erleuchtet ist. Copernicus liegt noch größtheils im Schatten, nur ein Theil des inneren östlichen Abhanges ist erleuchtet, weniger hell sind einige Parthien der westlichen Wall. Jenseits der Lichtgränze sind noch vielfach einzelne Lichtpunkte Lichtstreifen sichtbar.

Von diesem schönen Mondbilde hat Photograph Vollenweid Bern eine etwas verkleinerte sehr gelungene photographische Copie gemacht (Monddurchmesser 39 Cent.), deren Verlag die Dalp'sche Handlung (Schmid) in Bern übernommen hat.

Eine noch mehr verkleinerte Copie des Rutherford'schen Bildes befindet sich in unserem Atlas als Tab. XI b. Die Namen der wichtigsten auf ihr sichtbaren Mondberge sind aus der beigefügten Erörterungstafel XI c. zu ersehen.

Um eine Mondlandschaft aus photographischen Abbildungen kennen zu lernen, sind mehrere bei verschiedener Beleuchtung genommene Bilder derselben nothwendig.

Astronomische Photographien können nur mit Hilfe grossen, parallaktisch aufgestellten und durch ein gleichförmig gehendes Uhrwerk gedrehten Fernrohrs gemacht werden. Schraubt man an einem solchen Instrument das Ocular ab, so erhält man im Brennpunkt des achromatischen Objectivs ein Mondbild, dessen Durchmesser $\frac{1}{120}$ von der Brennweite des Objectivs ist, welches also fast $\frac{1}{120}$ Zoll Durchmesser hat, wenn die Brennweite des Objectivs 14 Fuss beträgt. Ein gewöhnliches achromatisches Objectiv giebt keine ganz scharfe photographische Bilder. Rutherford berechnete sein Objectiv so, dass es ohne Berücksichtigung der optisch wirksamsten Strahlen möglichst grosse Brennweite für die verschiedenen chemisch wirksamen Strahlen hat. Der Durchmesser dieses Objectivs betrug $11\frac{1}{4}$ Zoll, seine Brennweite 14 Fuss.

Mit Hilfe eines solchen Objectivs wird nun zunächst ein negatives Collodium-Glasbild von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser hergestellt, welches aber so feine Details enthält, dass es eine namhafte Vergrößerung verträgt. — Ein solches negatives Original wird nun als Object in einen Apparat eingesetzt, welcher nach dem Principe der laterna magica möglicher optischer Vollkommenheit construirt ist. Von Sonne oder von elektrischem Licht beleuchtet wird das kleine negative Bild mit 10 bis 14 maliger linearer Vergrößerung auf eine photographisch präparirte Glasplatte projectirt, auf welcher auf diese Weise ein g

tives Bild erzeugt wird. — Von diesem grossen positiven Glasbild kann nun zunächst wieder eine gleich grosse negative Copie hergestellt, die dann in der gewöhnlichen Weise dient, um positive Copieen auf Papier zu machen.

Wenn man die Rutherford'sche Photographie mit der Mondkarte von Beer und Mädler vergleicht, so muss man staunen über die Genauigkeit, mit welcher diese Karte alle Details der Mondoberfläche wiedergibt.

Mit Hilfe von Mondphotographien wird man vielleicht dereinst entscheiden können, ob auf der Mondoberfläche wirklich gegenwärtig noch Veränderungen vor sich gehen. Ältere Beobachtungen, auf welchen noch thätige Vulcane auf dem Monde vorkommen sollen, beruhen auf Täuschungen zu beruhen.

Lohrmann, Beer und Mädler versichern niemals eine wirkliche Veränderung auf der Mondscheibe beobachtet zu haben. Im October 1866 machte Schmidt in Athen die Wahrnehmung, dass der früher als ein sehr tiefer Krater wahrnehmbare Linné im mare sereni diese Kratergestalt gegenwärtig nicht mehr zeigt.

Die Trabanten des Jupiter. Wenn man den Jupiter durch ein Fernrohr von mässiger Vergrösserung betrachtet, so sieht man, dass er von vier kleinen Sternchen begleitet ist, welche nahezu in einer

Fig. 129.



geraden Linie aufgestellt erscheinen. Schon nach einigen Stunden lässt sich eine Veränderung in der gegenseitigen Stellung dieser Sternchen erkennen. Fig. 129 stellt den Jupiter mit seinen Trabanten dar, wie er sich vom 13. bis 20. März 1872 Abends um 10 Uhr zeigen wird und bezeichnet das 8seitige Sternchen den 3., das 6seitige den 4., das 7seitige den 2. und das 4seitige Sternchen den 1. Trabanten. Am

14. März wird der 2. und 4. Trabant hinter dem Jupiter stehen. erste Trabant befindet sich zu der bezeichneten Stunde am 16. ge vor, am 17. gerade hinter dem Jupiter.

Aus einer genaueren Beobachtung der Jupiterstrabanten ergibt nun, dass sie in Kreisen um den Planeten herumlaufen; die Ebene d Bahnen fällt beinahe mit der Ebene des Jupitersäquators zusammen deshalb erscheinen sie uns fast ganz zur Linie verkürzt und wir die einzelnen Trabanten in dieser Linie bald von Ost nach West dann wieder von West nach Ost fortschreiten.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Entfernung der Jup trabanten vom Mittelpunkt des Planeten in Jupitershalbmessern : drückt nebst ihrer Umlaufszeit.

	Abstände.	Umlaufszeit.
1. Satellit	6,05	1,769 Tage
2. "	9,62	3,551 "
3. "	15,35	7,155 "
4. "	27,00	16,689 "

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Jupiterstrabanten das Kepler'sche Gesetz befolgen, dass sich nämlich die Quadrate ihre laufszeiten verhalten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Ab vom Jupiter. Ebenso befolgen sie auch die beiden ersten Kepler Gesetze.

Fig. 130 stellt den Jupiter mit den Bahnen seiner Trabanten richtigem Grössenverhältniss dar. Die Stellung jedes der vier Sat in seiner Bahn am 1. October 1856 Abends 10 Uhr ist durch einen die Stellung desselben in derselben Stunde des folgenden Tages einen kleinen Strich bezeichnet, vorausgesetzt, dass sich die Erde Richtung von *J* nach *A* hin befindet.

Von der Erde aus gesehen sind die mittleren scheinbaren Durchmesser der vier Jupitersmonde:

I. 1,0" II. 0,9" III. 1,5" IV. 1,3",

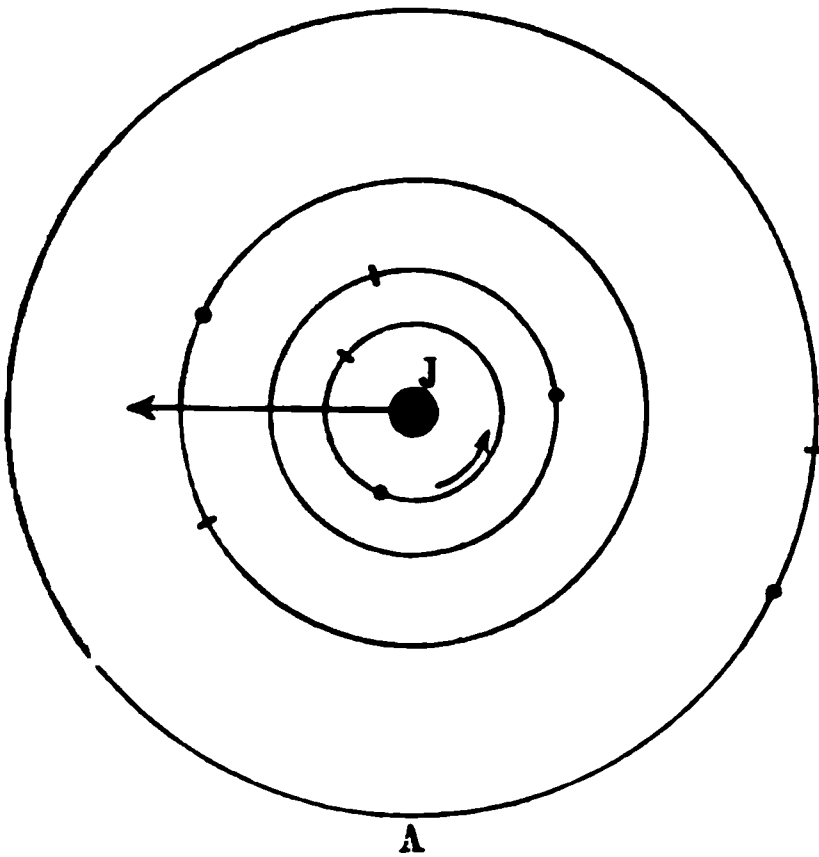
die wahren Durchmesser sind also:

I. 529 geogr. Meilen, III. 776 geogr. Meilen,
II. 475 " " IV. 664 " "

Das Ansehen dieser Trabanten ist ungefähr das von Sternen an Grösse, man würde sie also wahrscheinlich mit blossen Auge wahrnehmen können, wenn sie nicht durch die Nähe ihres glänzenden Planeten sichtbar blieben.

An den Bahnen der beiden inneren Trabanten kann man keine Abweichung von der Kreisgestalt nachweisen, die Bahnen der beiden äusseren aber eine geringe Excentricität. Die Neigung der Bahnen gegen die Ebene des Jupitersäquators ist sehr gering, sie übersteigt nicht die Masse von einigen Minuten.

Fig. 130.



Da der Durchmesser des Jupiter sehr gross ist und die Trabanten ihm verhältnissmässig sehr nahe stehen, da ferner die Neigung ihrer Bahnen gegen den Aequator des Planeten und gegen die Bahn desselben sehr gering ist, so ereignet sich bei jedem Umlauf dieser Monde eine Sonnen- und eine Mondfinsterniss. Nur der vierte geht manchmal über oder unter dem Jupiterschatten vorbei, sowie denn auch sein

hatten manchmal nördlich oder südlich vom Jupiter an demselben vorübergeht.

Mit guten Fernrohren sieht man den Schatten, welchen die Trabanten auf den Jupiter werfen, als einen schwarzen Punkt über denselben vorbeigehen. Mit weit geringeren Instrumenten aber kann man schon das Verschwinden und Wiedererscheinen der Jupiterstrabanten beobachten, wenn sie in den Schatten ihres Planeten ein- oder austreten.

Um diese interessante Erscheinung anschaulicher zu machen, ist in Fig. 131 und Fig. 132 (a. f. S.) dieselbe dargestellt, wie sie sich in den Monaten Juni und December des Jahres 1861 gezeigt hat.

Im Juni 1861, also zwischen der am 10. Februar stattgefundenen Opposition und der am 30. August stattgefundenen Conjunction des Jupiter mit der Sonne liegt der Schatten dieses Planeten von der Erde aus gesehen östlich von demselben; Ein- und Austritt der Trabanten in den Schatten des Jupiter kann man also in dieser Zeit also nur auf der Ostseite Jupiterscheibe wahrnehmen.

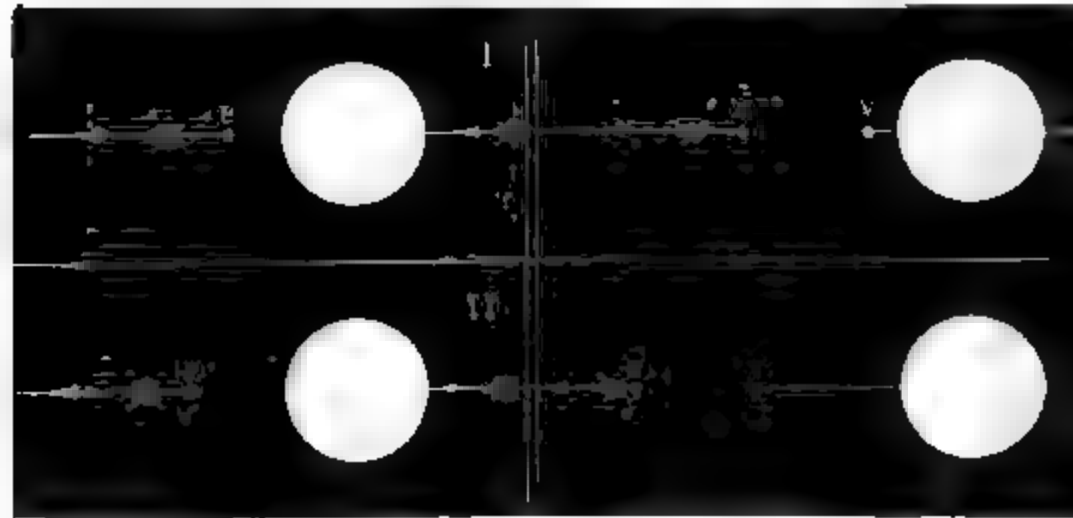
Auf der jenseitigen Hälfte ihrer Bahn bewegen sich die Trabanten der Richtung von West nach Ost, sie werden also am Westrande des Jupiter verschwinden. Der erste Trabant tritt in den Schatten ein, während er sich noch hinter der Jupiterscheibe befindet und wird erst bei dem 2. (Fig. 131) wieder sichtbar, wenn er aus dem Schatten austritt.

Für den zweiten Trabanten ist die Erscheinung ganz die gleiche,

nur ist die Stelle *e* (Nro. II. Fig. 131), wo der Trabant wieder etwas weiter vom Planeten entfernt.

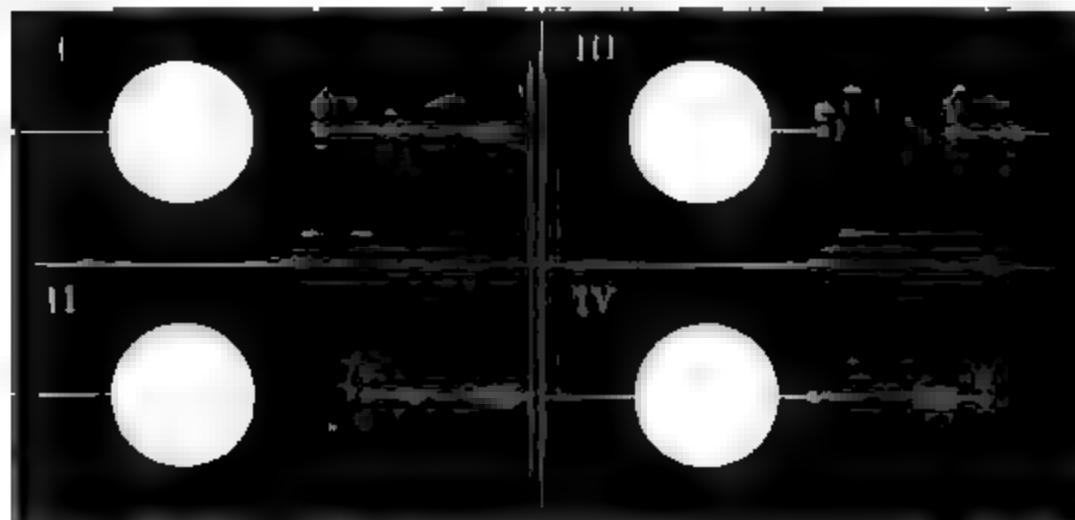
Der dritte Trabant wird sogleich wieder sichtbar, wenn er ranke der Jupitersscheibe vortritt (Nro. III. Fig. 131); erst b schwindet er, in den Schatten eintretend, aus dem er bei *e* wieder

Fig. 131.



Auch für den vierten Trabanten kann man den Eintritt Schatten und den Austritt aus demselben beobachten, nur ist des Verschwindens *v* und die Stelle des Wiedererscheinens bei vom Jupiter entfernt, als für den dritten Trabanten, wie Fig. 131 zeigt.

Fig. 132.



Je mehr Jupiter sich der Conjunction mit der Sonne nähert, desto mehr verkürzt sich von der Erde aus gesehen der Schatten, desto näher rücken also auch die Stellen des Verschwindens und Erscheinens der Trabanten der Jupitersscheibe; so ist denn für den Trabant im Juli 1861 der Eintritt in den Schatten nicht mehr

Nach der Conjunction liegt der Schatten des Jupiter von der Erde gesehen auf der Westseite des Planeten; die Trabanten werden also auf der Westseite der Jupiterscheibe im Schatten verschwinden, ehe sie den Westrand des Planeten erreichen, wie dies Fig. 132 erläutert, welche die Erscheinung für den December 1861 darstellt.

In der Zeit von $4 \text{ } \circ$ bis $4 \text{ } \circ$ kann man von der Erde aus den Eintritte der Trabanten in den Jupiterschatten, von $4 \text{ } \circ$ bis $4 \text{ } \circ$ dagegen alle Austritte der Monde aus diesen Schatten wahrnehmen. Da die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten sehr häufig vorkommen, so können sie sehr gut als himmlische Signale für Längenangaben auf der Erde benutzt werden. Die astronomischen Ephemeriden enthalten die bis auf Bruchtheile einer Secunde vorausberechneten Momente der von der Erde aus sichtbaren Ein- und Austritte der Jupiterstrabanten nach der Zeit des Meridians der Sternwarte, auf welche sich die Ephemeriden beziehen.

Durch die sorgfältige Beobachtung der Verfinsterungen der Jupiterstrabanten gelang es dem dänischen Astronomen Römer im Jahre 1765, die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Es wird davon im folgenden Buche ausführlicher die Rede sein.

Die Trabanten der äussersten Planeten. Sowohl Saturn 82 als auch Uranus sind von Satelliten umkreist, ja man hat bereits einen Trabant des Neptun entdeckt.

Die Trabanten des Saturn sind weit schwieriger sichtbar als die Jupitermonde. Während letztere sogleich nach Erfindung der Fernbrille entdeckt wurden, wurde der hellste der Saturnstrabanten erst im Jahre 1655 von Huyghens aufgefunden.

Bis jetzt kennt man 8 Saturnstrabanten. Der von Huyghens entdeckte ist vom Saturn an gerechnet der sechste. Cassini entdeckte den fünften, fünften, vierten und dritten von 1671 bis 1687. Den ersten und zweiten entdeckte Herschel mit seinem Riesenteleskope in den Jahren 1788 und 1789.

Nur der sechste Trabant (dessen Abstand vom Saturn 22 Halbmessern dieses Planeten und dessen Umlaufzeit 15,9 Tage beträgt) ist ohne Instrumente leicht sichtbar; die übrigen können nur durch ganz ausgezeichnete Instrumente wahrgenommen werden. Die beiden innersten Trabanten wurden erst lange Zeit nach ihrer Entdeckung durch Herschel von Anderen gesehen, und zwar der zweite von Lamont im Jahre 1836, der erste von den Astronomen des Collegio Romano im Jahre 1838. Die Entfernung des ersten Trabanten vom Mittelpunkt des Saturn beträgt 3,14, die des zweiten beträgt 4,03 Halbmesser des Saturn.

Der achte Mond des Saturn wurde im Jahre 1848 fast gleichzeitig in Nordamerika und von Lossel in England beobachtet. Seine Stellung im System ist bis jetzt noch nichts Näheres bekannt.

Während die Bahnebenen der übrigen Saturnstrabanten nicht stark

von der Ebene des Ringes abweichen, beträgt die mittlere Neigung der Bahn des siebenten Trabanten gegen die Ringebene über 21 Grad.

Da Uranus selbst nur ein teleskopischer Planet ist, so ist wol greiflich, dass seine Satelliten sehr schwer sichtbar sind. Die beiden Jahre 1787 von Herschel zuerst als ungemein feine Lichtpunkte deckten sind die einzigen, deren Existenz vollständig constatirt. Ausser ihnen beobachtete Herschel noch vier andere, die aber seither kaum wieder gesehen worden sind, und von denen sich also mit Sicherheit nichts Näheres angeben lässt.

Die beiden mit Sicherheit bekannten Uranusmonde zeigen eine würdige Ausnahme von den sonst in unserem Planetensystem herrschenden Verhältnissen, indem sie rückläufig sind und ihre Bahnen fast senkrecht winklig auf der Uranusbahn stehen. Für den äussersten dieser beiden Satelliten beträgt die Neigung der Bahn gegen die Ebene der Uranusbahn ungefähr 79 Grad.

Bis jetzt ist erst ein Trabant des Neptun beobachtet worden, welchem aber noch nichts Näheres bekannt ist.

Sechstes Capitel.

Die Kometen und Meteorite.

Eigenthümlichkeiten der Kometen. Ausser den Planeten 83
gibt es noch eine grosse Anzahl anderer Gestirne, welche sich gleichfalls
um die Sonne bewegen, sich aber von denselben sowohl durch ihr An-
sehen als auch durch die Natur ihrer Bahnen wesentlich unterscheiden,
nämlich die Kometen. Mit diesem Namen, den wir durch Haarsterne
ersetzen können, bezeichnete man schon im Alterthum solche Gestirne,
welche, durch einen mehr oder minder grossen Schweif ausgezeichnet,
vermuthet am Himmel erscheinen und, nachdem sie einen von den
Planetenbahnen meist sehr abweichenden Weg unter den Fixsternen zu-
ckgelegt haben, wieder verschwinden.

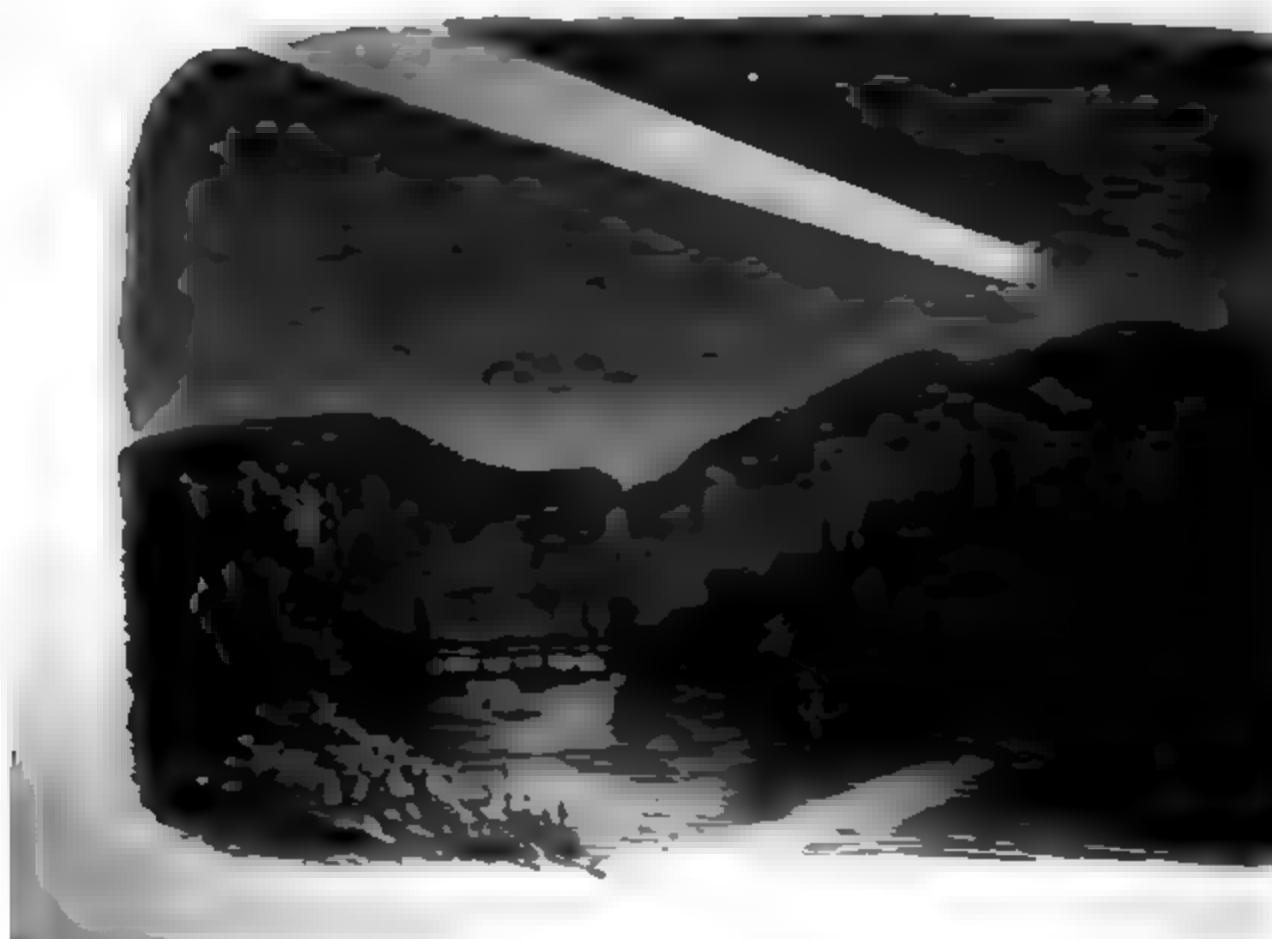
Der Aberglaube sah in den Kometen Vorboten von Krieg, Pest,
Hungersnoth und von sonstigen Uebeln aller Art. Die Ungereimtheit
dieser solchen Meinung trat in dem Maasse deutlicher hervor, als man
das Wesen der Kometen näher kennen lernte und nachzuweisen im Stande
war, dass ihre Bahnen denselben Bewegungsgesetzen folgen, wie die
Planetenbahnen. Dass die Erscheinung der Kometen ebenso wenig mit
dem Schicksalen des Menschengeschlechts oder einzelner Individuen zu-
sammenhängt, wie die Constellationen der Planeten, bedarf wohl keines
weiteren Beweises; dass aber die Kometen auch keinen Einfluss auf den
Wandel der Erscheinungen in unserer Atmosphäre haben, dass sie nament-
lich nicht auf die Witterungsverhältnisse influiren, musste man einsehen,
sobald man ihre kosmische Natur erkannt hatte.

Die meisten Kometen zeigen einen hellen rundlichen Kern, welcher
von einer schwächer leuchtenden nebligen Hülle umgeben ist, die sich
auf einer Seite, und zwar in der Regel auf der der Sonne abgewandten,
in einen Schweif verlängert. Dieser Schweif erscheint uns manchmal
unter einem Winkel von 60 bis 90, ja bis 100°, so dass er über einen
bedeutenden Theil des Himmelsgewölbes wegzieht, wie man dies aus

Fig. 133.



Fig. 134



133 und Fig. 134 ersieht. Die letztere stellt den Kometen von nach einer Abbildung im *Theatrum europaeum*, die erstere den von 1843 nach einer im ersten Jahrgang der *Illustrierten Zeitung* befindlichen Abbildung dar, und zwar sammt der landschaftlichen Umgebung, wodurch man leicht einen Maassstab für die Grösse der Erscheinung erhält.

Fig. 135.



Der Kometenschweif ist bald gerade, bald mehr oder weniger gebogen, wie dies z. B. der schöne Komet von 1811 zeigt, welcher Fig. 136 dargestellt ist; fast immer aber erstreckt er sich vom Kopf nach der von der Sonne abgewendeten Seite hin.

Fig. 136.



Manchmal fehlt der Kern ganz, wie z. B. bei dem schönen Kometen, im Jahre 1819 beobachtet wurde (Fig. 136).

Die Gestalt des Schweifes ist mannigfachen Variationen ja für einen und denselben Kometen sieht man, wie sie ändert. Man hat sogar Kometen beobachtet, welche meh zeigen; der Komet vom Jahre 1744 hatte deren sogar se

Fig. 137.



Fig.



oder vielmehr sein Schweif erschien in sechs Theile gespalt jeder 4° breit und 30 bis 40" lang war. Bei dem sehr glometen von 1807, Fig. 138, theilte sich der Schweif in zwei

Durch den Schweif der Kometen hindurch kann man deutlich sehen, ja Bessel und Struve haben selbst durch Kometen hindurch noch Fixsterne beobachtet. Was den Ort Kometen hindurch gesehenen Sterne betrifft, so zeigt sich d aus nicht merklich verändert, die Lichtstrahlen erleiden a durch den Kometen hindurchgehen, keine Ablenkung d was darauf hindeutet, dass die Masse der Kometen nicht sondern aus einer gleichsam staubartigen Masse, aus di leere Zwischenräume getrennten Theilchen bestehen muss.

- 84 **Scheinbare Bahn der Kometen.** Während stets in der Nähe der Ekliptik beobachtet werden, entfe Kometen oft sehr weit von derselben, so dass sie manchmal des Polarsternes erscheinen. Während die Planetenbahn gegen die Sonnenbahn geneigt sind, stehen die Kometenb nahe rechtwinklig auf der Ekliptik. Der Komet vom Ja schien z. B. zuerst im Sternbild der Wage am 28. Novem in der Mitte zwischen dem Stern α und β , durchlief das Bootes und verschwand endlich am 18. Januar 1619 bei ei Declination von 77° ungefähr auf der Linie, welche die St des grossen Bären mit dem Polarsterne verbindet.

Als der Kern dieses Kometen ungefähr bei ζ des Fig. 139, erstreckte sich der Schweif, einer Zeichnung des

bis in die linke Vordertatze, d. h. bis zu den Sternen ϵ und α des Bären.

Die Bahn des grossen Kometen von 1680 und 1681 macht einen Winkel mit der Ekliptik. Der Komet erschien in der letzten

Fig. 139.



am 27. November 1680 im Sternbild der Jungfrau. Am 27. November war seine geocentrische Länge 185° , seine südliche Breite 1° ; bis Ende December war seine geocentrische Länge auf 236° und seine südliche Breite auf $2^\circ 42'$ gewachsen, er war also während dieser Zeit, in

welcher er in den Morgenstunden sichtbar war, ganz in der Nähe Ekliptik geblieben: nach dem 7. December verschwand er in den Strahlen der Sonne, um am 22. December östlich von der Sonne wieder erscheinen. An diesem Tage war die geocentrische Länge des Kernes geführ 277°, seine nördliche Breite aber 7.5°. Er durchlief nur Sternbilder des Adlers, des Delphins, des Pegasus, der Andromeda, Triangels, und verschwand am 18. März 1681 in der Nähe des Sterns des Persens. Am 4. Februar war seine geocentrische Länge 39° einer nördlichen Breite von etwas über 19°. Man kann nach den Angaben die Bahn des fraglichen Kometen auf den Sternkarten Tab. und Tab. IV. verfolgen.

85 Der Donati'sche Komet. Im Herbst 1858 erschien ein Komet, welcher, der schönste unter allen bis jetzt in diesem Jahrhundert sichtbar gewordenen, die wesentlichsten der in den beiden letzten Paragraphen besprochenen Eigenthümlichkeiten in ganz ausgezeichnete Vorn zur Anschauung brachte. Wir wollen uns deshalb etwas näher mit demselben beschäftigen.

Am 2. Juni 1858 entdeckte Donati auf der Sternwarte zu Florenz einen teleskopischen Kometen, welcher am 10. September zuerst blossen Auge sichtbar wurde und welcher nach seinem ersten Beobachter den Namen des Donati'schen Kometen führt.

In Fig. 140 ist die scheinbare Bahn des Donati'schen Kometen vom 12. September bis zum 14. October eingetragen. Der Kopf des Kometen durchlief, nachdem er das Sternbild des grossen Bären (von welchem unsere Karte nur ein kleines Stück enthält) verlassen hatte, die Gabel zwischen dem Sternbild der Jagdhunde und dem des Halses der Berenice; trat dann in das Sternbild des Bootes ein und gelang endlich durch das südwestliche Eck der Schlange in das Sternbild des Scorpions.

Selbst die kleinsten Sterne waren durch den Schweif des Kometen sichtbar. Die grösste Lichtstärke zeigten Kern und Schweif in den letzten Tagen des September und den ersten des October. Seine grösste Länge erreichte der Schweif am 6., 7. und 8. October.

In unserer Figur ist der Schweif nach Lage und Grösse für mehrere Beobachtungsabende möglichst genau eingetragen: auf demselben Bogen findet man aber auch ein Stück der Ekliptik, auf welcher der Stand der Sonne für den 27. September, den 8. und 15. October bemerkt ist. Verbindet man diese Sonnenörter mit den gleichzeitigen Kometenörtern durch gerade Linien, so findet man, dass in der That der Schweif des Kometen stets von der Sonne abgewendet war.

Der Schweif des Donati'schen Kometen erschien gegen den Kopf weit mehr zugespitzt, als es die Abbildungen früherer Kometen zeigen. Er machte namentlich vom 27. September bis zum 4. October den Eindruck einer niederfallenden Rakete, wie dies auch mögliche

undschaffliche Bild des Kometen vom 30. September auf Tab. XIIIa. ähnlich macht, welches auch die Constellation des Kometen zum Sternes grossen Bären richtig wiedergiebt.

Fig. 140.



Der Schweif war nie gerade, sondern stets gekrümmt und zwar war convexe Wölbung nach der Seite gerichtet, gegen welche er fort-
 tt, gerade so also, als ob er durch ein widerstrebendes Medium, in
 dem sich der Komet bewegt, zurückgebogen würde. Dabei war der
 weif auf der convexen Seite entschieden schärfer begränzt als auf der
 aven, was sich namentlich am 6., 7. und 8. October deutlich zeigte.
 Nach den Mittheilungen meines im Jahre 1861 als Mitglied der
 ke'schen Expedition im Innern von Australien verstorbenen Freund-
 Ludwig Becker wurde zu Melbourne der Donati'sche Komet
 aller's kosmische Physik.

am 11. October zum ersten Male beobachtet und blieb daselbst bis zum 12. November sichtbar. Am 19. October stand er ungefähr 5" östlich von Antares.

Durch ein ausgezeichnetes Fernrohr von 60maliger Vergrößerung betrachtet, machte der Kopf des Kometen den Eindruck einer nicht scharf begränzten, in einer Nebelhülle schwebenden Kugel, wie dies in Fig. 2 Tab. XIa. möglichst treu wieder zu geben versucht worden ist.

Hinter der Kugel (d. h. nach der von der Sonne abgewendeten Seite hin) zeigte sich, wie dies bei den meisten Kometen der Fall ist, ein dunkler Raum, welcher in der Nähe des Kopfes wenigstens, den Schweif gleichsam in zwei Lichtstreifen theilte. In grösserer Entfernung vom Kopfe war dieser dunkle Zwischenraum nicht mehr zu erkennen, wie er denn überhaupt nirgends, selbst in der Nähe des Kopfes nicht, die volle Dunkelheit des umgebenden Himmels hatte.

Die richtige Deutung dieses dunklen Raumes dürfte wohl, wie auch allgemein angenommen wird, die sein, dass wenigstens das Kopfende des Kometenschweifes ein hohles Umdrehungsparaboloid einer nebelartigen Substanz sei.

Von den im nächsten Paragraphen zu besprechenden Ausströmungen konnte ich noch nichts wahrnehmen. Jedenfalls hat man es hier mit einer ungemein zarten Erscheinung zu thun, deren Verfolgung nicht allein gute Instrumente, sondern auch geübte Beobachter fordert.

86 Die Ausströmungen der Kometen. Schon Hevel macht die Bemerkung, dass der Kopf eines von ihm beobachteten Kometes in steter Veränderung begriffen sei. In ganz ausgezeichnete Weise zeigt sich diese Erscheinung, welche sich bei genauerer Untersuchung als eine vom Kern ausgehende, gegen die Sonne gerichtete Strömung erweist, an dem schönen Kometen vom Januar und Februar 1744. Der Komet von 1811 zeigte nichts der Art, wahrscheinlich weil er viel weiter von der Sonne entfernt blieb als der von 1744 und die sogleich näher zu besprechenden.

Im October 1858 entwickelte sich das Phänomen der Ausströmung am Donati'schen Kometen in ganz ausgezeichnete Weise und wurde der Gegenstand vielfacher genauer Beobachtungen und Messungen. Von den über diesen Gegenstand publicirten Schriften und Abbildungen sind mir eben nur die „astronomischen Beobachtungen über Kometen von Julius Schmidt, Athen 1863“ zugänglich, welchen ich das Folgende entnehme.

Am 30. September 1858 Abends 6 Uhr, also in der Dämmerung, als eben der Lichtbogen der Coma (d. h. der Gipfelbogen des Schweifes) sich zeigte, erschien der Kern des Kometen ganz verwaschen, ähnlich einer kleinen Wolke; nach und nach löste sich von dem Kerne gegen die Sonne hin eine ungefähr halbkugelförmige Nebelhülle ab, so dass um 7 Uhr 40 Min. der Kern seine frühere Schärfe und Kleinheit wieder er-

atte und nun von einem schönen kreisförmigen Lichtbogen, von Hülle umgeben erschien, die nach aussen scharf begränzt und hell, rts aber gegen den dunklen Raum hin geöffnet war. Ausserdem sich noch in dem allgemeinen Licht der Coma eine zweite äussere, teren concentrische mattere Hülle.

ehnliche Erscheinungen zeigten sich auch an den folgenden Aben-nd am 3. October begann Schmidt die regelmässigen Messungen änomens.

o fand er z. B. am 4. October den scheinbaren Durchmesser des n Halos

um 5 ^h 36'	gleich 5,38"
" 6 23	" 10,63
" 7 39	" 16,45
" 8 19	" 19,8.

n 2 Stunden 43 Minuten war also der Halbmesser des inneren Halos uf das 4 fache gewachsen. Für den grösseren Halo ergaben sich de scheinbare Durchmesser

5 ^h 59'	gleich 32,16"
7 41	" 39,73.

n Fig. 141 ist die Erscheinung dargestellt, wie sie am 4. October zu verschiedenen Stunden wahrgenommen wurde. Dabei ist noch zu-ken, dass der Kern des Kometen mit dem Halo schon in heller-erung sichtbar war, während man von der Coma noch nichts wahr-en konnte.

Fig. 141.



Das gleiche Schauspiel wiederholte sich an den folgenden Abenden. dem Kern lösten sich in bestimmten Intervallen Lichtringe ab, welche-erisch sich erweiternd, lichtschwächer wurden, um endlich zu ver-ünden. So hat Chacornac in Paris nach einander acht Ringe sich-en und allmählig verschwinden sehen.

Im Durchschnitt zeigte sich, dass die Geschwindigkeit, mit welcher-ichtringe sich vom Kern entfernen, abnimmt, wenn ihr Halbmesser

wächst, es ergab sich also im Durchschnitt diese Geschwindigkeit für den inneren als für den äußeren Ring.

Es ergab sich z. B. für die Geschwindigkeit g' des inneren die Geschwindigkeit g'' des äußeren Ringes:

	g'	g''
Am 1. October	321 Meilen	176 Meilen
„ 3. „	375 „	261 „
„ 7. „	315 „	181 „

Der wahre Durchmesser des Nucleus betrug nach Schätzungen zwischen dem 2. und 15. October 300 bis 285 geogr. Meilen. Der Scheitelradius der Coma betrug am 10. September 540 Meilen und nahm bis zum 16. October bis auf 2820 Meilen ab.

Fig. 142



Am 30. Juni 1861 erschien am nördlichen Himmel ohne bemerkt worden zu sein, ein Komet von enormen Dimensionen. Er stand in der Nähe von α des grossen Bären (ungefähr am Ende dieses Sternbildes und des Luchses), sein über 100° langer Schweif über den Polarstern und γ lyrae bis gegen ξ aquilae hin. Während er sich fortbewegend nahm auch seine Grösse rasch ab, dass er schon nach 8 bis 10 Tagen keine Aufsehen erregende Erscheinung mehr war, obgleich er für aufmerksame Beobachter noch Zeit lang mit blossem Auge sichtbar blieb.

Auch dieser Komet zeigte ausgezeichnete Strömungswechsel und fortwährende Veränderungen des Kopfes.

Fig. 142 ist der mit dem Fernrohr beobachtete Kopf des Kometen zu zwei verschiedene Abende dargestellt. Die unterste der drei



angen stellt denselben dar, wie er sich in der Nacht vom 30. Juni
Uhr 32 Minuten zeigte. Anfangs zeigten sich nur 8, später
bogen, ganz analog mit den Sektoren des Donati'schen Kometen,

nur gingen hier die Lichthüllen in excentrischen Curven von dem Kerne aus. Auch hier bildeten sich die Lichtströmungen in kurzen Zeiten und konnten über eine gewisse Gränze hinaus nicht wachsen. Später nahmen die Ausströmungen des Kopfes mehr eine büschelförmige Gestalt an; diese gegen die Sonne hin ausgesendeten Büschel wuchsen oft in wenigen Stunden um das Doppelte ihrer ursprünglichen Länge, um alsdann unendlich zu werden. Kurz, auch der Kopf dieses Kometen zeigte einen beständigen Wechsel der Gestalten.

In den beiden oberen Abbildungen der Fig. 142 ist die Erscheinung des Kometenkopfes dargestellt, wie sie Schmidt am 5. Juli in den beschriebenen Stunden beobachtete.

Im August 1862 erschien abermals ein mit blossem Auge sichtbarer Komet am nördlichen Himmel, dessen Schweiflänge zwar nur 20° erreichte und welcher keineswegs durch seine Helligkeit, wohl aber durch die Strömungserscheinungen seines Kopfes ausgezeichnet war. Besonders auffallend war an diesem Kometen die Gestalt der Coma, welche lange Zeit hindurch ihre selbständige kreisrunde Gestalt behielt, wobei sie links und rechts über die Seitenränder des Schweifes übergriff, wie man dies in Fig. 143 sieht, in welcher der Totalanblick des Kometen am 24. August und der Kopf dargestellt ist, wie er sich in der Nacht des 24. und des 29. Augusts zeigte.

Am 24. August betrug die scheinbare Länge des Schweifs ungefähr 16° , der scheinbare Durchmesser des Scheitelradius der Coma aber 14,5 Minuten, woraus sich nach Schmidt's Berechnung der wahre Durchmesser desselben gleich 43 Erddurchmessern ergab. (Der Abstand des Kometenkopfes von der Erde betrug zu dieser Zeit ungefähr 0,4 Erdweiten.)

Was den Kern anbelangt, so erschien er höchstens unter einem Winkel von $1''$, wonach sein wahrer Durchmesser nicht über 0,07 Erdhalmesser oder 60 Meilen betragen haben kann.

Die im Allgemeinen gegen die Sonne gerichteten Ausströmungen des Kerns waren büschel- oder fächerartig, und die Lage des Fächers gegen die Axe des Schweifes war stets variirend. Was die Wandlungen des Kometenkopfes betrifft, so fand sie Schmidt einem periodischen Wechsel unterworfen, indem nach je drei Tagen ungefähr dieselbe Gestaltung des Kometenkopfes wiederkehrte.

87 **Wahre Gestalt der Kometenbahnen.** Lange Zeit suchte man vergebens nach einer, den scheinbaren Lauf der Kometen genügend erklärenden Theorie. Erst Dörfel, ein Prediger zu Plauen im Voigtlande, stellte, durch die Erscheinung des grossen Kometen von 1680 und 1681 veranlasst, die Meinung auf: die Bahn der Kometen sei eine Parabel, in deren Brennpunkte der Mittelpunkt der Sonne liege. Durch Newton's neues Weltsystem fand alsbald Dörfel's Meinung ihre Bestätigung und genauere Bestimmung.

Auf Tab. XII. ist die parabolische Bahn des Kometen von 1680 und 1681 dargestellt. Mit Hülfe dieser Figur wird man sich überzeugen können, dass die parabolische Hypothese den auf Seite 207 beschriebenen scheinbaren Lauf des Kometen genügend erklärt (natürlich nur in Beziehung auf die Veränderungen in der Länge; um die Veränderungen in der Breite nachzuweisen, müsste man noch die Neigung der parabolischen Bahn in Betracht ziehen, wozu, wenn es durch Zeichnung geschehen sollte, noch eine weitere Figur nöthig wäre).

Als der Komet am 17. December 1680 durch sein Perihelium ging, war er nur noch 128 000 Meilen von dem Mittelpunkte und nur 32 000 Meilen von der Oberfläche der Sonne entfernt. In dieser ungemeinen Nähe musste, von ihm aus gesehen, die Sonne als eine Scheibe von 96° Durchmesser erscheinen; gleichwohl ist er nach dem Durchgang durch das Perihelium ein Komet geblieben.

Nachdem man einmal die Bahnen bestimmen gelernt hatte, welche die Kometen in unserem Sonnensystem durchlaufen, ergab sich auch der wahre Ort, den sie an bestimmten Tagen im Raume einnahmen. So sehen wir aus Tab. XII., dass der Komet von 1680 und 1681 am 22. December 1680 nahezu 4 Millionen Meilen von der Sonne und etwas über 10 Millionen Meilen von der Erde abstand (da die Entfernung der Erde von der Sonne in runder Zahl 20 Millionen Meilen beträgt).

Ferner war man nun auch im Stande, die wahre Länge der Kometenschweif zu bestimmen, und fand hier oft ganz enorme Dimensionen. Der Schweif des Kometen von 1618 erreichte eine Länge von 9 Millionen Meilen, der Schweif des Kometen von 1680 und 1681 muss mindestens 10 Millionen Meilen betragen haben. Der Komet von 1811 hatte einen Schweif von 12 bis 15 Millionen Meilen.

Die Kometen bleiben uns nur so lange sichtbar, als sie sich in der Nähe ihres Periheliums befinden und nicht durch die Strahlen der Sonne überglänzt werden. Die meisten verschwinden für uns, sobald sie sich über die Jupitersbahn hinaus von der Sonne entfernen.

Die Elemente, durch welche eine parabolische Kometenbahn bestimmt wird, sind folgende:

1) Die Länge des aufsteigenden Knotens. Durch sie ist die Lage der geraden Linie bestimmt, in welcher die Ebene der Erdbahn von der Ebene der Kometenbahn geschnitten wird.

2) Die Neigung der Kometenbahn, d. h. der Winkel, welchen die Ebene der Kometenbahn mit der Ebene der Erdbahn macht.

Durch diese beiden Elemente ist die Lage der Ebene der Kometenbahn, d. h. der Ebene der Parabel, bestimmt, in welcher sich der Komet bewegt. Den Brennpunkt dieser Parabel bildet bekanntlich die Sonne. Die Parabel selbst ist bestimmt:

3) durch die Länge des Perihels, d. h. durch den Winkel, welchen die auf die Ebene der Ekliptik projecirte Parabelaxe mit der von der Sonne nach dem Frühlingspunkte gezogenen Linie macht, und

Orte, an welchen sich die Erde zur Zeit des Wintersolstitiums, Lingsäquinoctiums und des Sommersolstitiums befindet, sind nach die mit d , a und b bezeichneten Punkte.

Wenn wir uns von c aus in der Richtung der Bewegung der Erdbahn einen Bogen cdn von $165^{\circ} 15'$ abgemessen, so ist die und S gelegte Gerade np die Knotenlinie der Bahn des Donati-Kometen.

Sei eine Linie, welche in der Ebene der Erdbahn liegend rechtwinklig auf np steht. Ist nun ferner Sr eine gleichfalls rechtwinklig stehende Gerade, welche mit St einen Winkel von $63^{\circ} 3'$ macht, so ist durch Sr und np gelegte Ebene die Ebene unserer Kometenbahn.

Da der Donati'sche Komet sich rückläufig bewegt, so ging er in der Richtung f über g , h , i , k , und l . In g ist der aufsteigende, in i der niedersteigende Knoten der Kometenbahn. Das Perihel in z der Komet am 30. September 1858. Die Stelle, welche an die Erde einnahm, ist in unserer Figur durch einen schwarzen Punkt bezeichnet.

In Fig. 144 ist Sv die Projection des Perihel-Leitstrahls Si oder der Bahnaxe auf die Ebene der Erdbahn. Der Winkel cSv ist also der Winkel des Perihels für den Donati'schen Kometen, deren Werth, bemerkt wurde, $36^{\circ} 16'$ beträgt.

Nach dem weniger Geübten die gegenseitige Lage der Erdbahn und Kometenbahn anschaulich zu machen, kann man das in Fig. 144 auch in Form eines Modells ausführen.

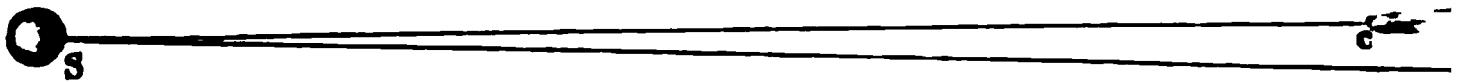
Die parabolischen Elemente des grossen Kometen von 1861 sind (Nr. 56. Bd.) nach Pape:

Ω	.	.	.	.	278°	59'
i	.	.	.	.	85°	38'
p	.	.	.	.	249°	22'
T	.	.	.	.	11,76	Juni
q	.	.	.	.	0,839	Erdweiten
Bewegung rechtläufig.						

Die Stellung des Kometen gegen die Sonne und Erde konnte man ersehen, dass die Erde am 28. oder 29. Juni durch den Perihel des Kometen gegangen sei. Nach den Rechnungen von Pape ist dies jedoch nicht der Fall. Der Komet ging am 28. Juni über den aufsteigenden Knoten; die heliocentrische Länge des Perihels war zu dieser Zeit $278^{\circ} 59'$, sein Abstand von der Sonne 0,839 Erdweiten. Die gleichzeitige heliocentrische Länge der Erde war $278^{\circ} 59'$. Die gegenseitige Position von Sonne, Komet und Erde war also die in Fig. 145 (a. f. S.) darstellt. Vorausgesetzt, dass die Bahn des Kometen in der Verlängerung des radius vector zusammenfiel, so hätte der kleinste Abstand der Erde von der Kometen-

axe immer noch 0,035 Erdweiten betragen. Aus späteren Beobachtungen des Schweifs ergab sich aber, dass er an derjenigen Stelle, wo die Erdbahn schnitt, nur einen Durchmesser von 0,0076 Erdweiten hatte, die Erde konnte mithin nicht in den Schweif eintreten, wenn sie ziemlich nahe an demselben vorbeiging.

Fig. 145.



Die Bahn eines Kometen kann möglicherweise eine Hyperbel, eine Parabel, oder endlich eine Ellipse sein. Bewegt sich der Komet in einer der beiden erstgenannten Curven, so kann er uns überhaupt einmal erscheinen; er kommt gewissermaassen aus unendlicher Ferne nach einiger Zeit unser Sonnensystem auf immer wieder zu verlassen. Ein Komet kann nur dann wieder in die Sonnennähe zurückkehren, wenn seine Bahn eine elliptische ist.

Der Umstand, dass der beobachtete Lauf der Kometen sich in der Regel sehr gut durch eine parabolische Bahn darstellen lässt, schließt die Möglichkeit nicht aus, dass er sich wirklich in einer lang gestreckten Ellipse bewegt; denn eine Parabel und eine sehr stark excen- trische Ellipse, welche einen gemeinschaftlichen Brennpunkt f , Fig. 146, und einen gemeinschaftlichen Gipfel b haben, fallen in der Nähe dieses Brennpunktes, welcher dem Perihelium entspricht, sehr nahe zusammen. So kann der Bogenstück abc , Fig. 146, ebenso gut ein Stück einer Parabel $habck$ als auch ein Stück der Ellipse $abcd$ sein. Die Kometen sind uns aber gerade nur in der Nähe des Periheliums sichtbar.

In den meisten Fällen genügt die parabolische Bahn den Beobachtungen und man behält sie dann bei, weil ihre Berechnung ungleich einfacher ist als die einer elliptischen Bahn.

Berechnet man aus den beobachteten Kometenorten eine elliptische Bahn, so wird man begreiflicherweise in Betreff einiger Bahnelemente keine grosse Genauigkeit zu erwarten haben; namentlich ist dies bei der Länge der grossen Axe und der Umlaufszeit der Fall.

Encke hat nach den zuverlässigsten Beobachtungen des Kometen von 1680 und 1681 eine elliptische Bahn desselben berechnet. Nach seiner Rechnung zufolge würde er im Aphelium ungefähr 853 Erdweiten oder 17000 Millionen Meilen weit von der Sonne entfernt sein. Sein A

elium wäre also 140 000 mal grösser als der im Perihelium. Als einliche Umlaufszeit ergab sich ungefähr 8800 Jahre.

g nun die Kometenbahn eine parabolische oder eine elliptische

sein, so findet auch hier das zweite Kepler'sche Gesetz seine volle Anwendung, d. h. die Geschwindigkeit des Kometen in seiner Bahn ist stets eine solche, dass der von der Sonne zum Kometen gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurücklegt. Die Geschwindigkeit des Kometen ist also am grössten, während er das Perihelium passirt.

Für den Kometen von 1680 und 1681 ergibt sich aus Encke's Rechnungen, dass er im Perihelium 53 Meilen, im Aphelium aber nur 10 Fuss in der Secunde zurücklegt. Im Aphelium ist also seine Geschwindigkeit ungefähr 116600mal geringer als im Perihelium.

Nach den Berechnungen von Bruhns sind die elliptischen Elemente des Donati'schen Kometen

Ω	. . . . .	165° 19'
i	. . . . .	63° 1,7'
p	. . . . .	36° 13'

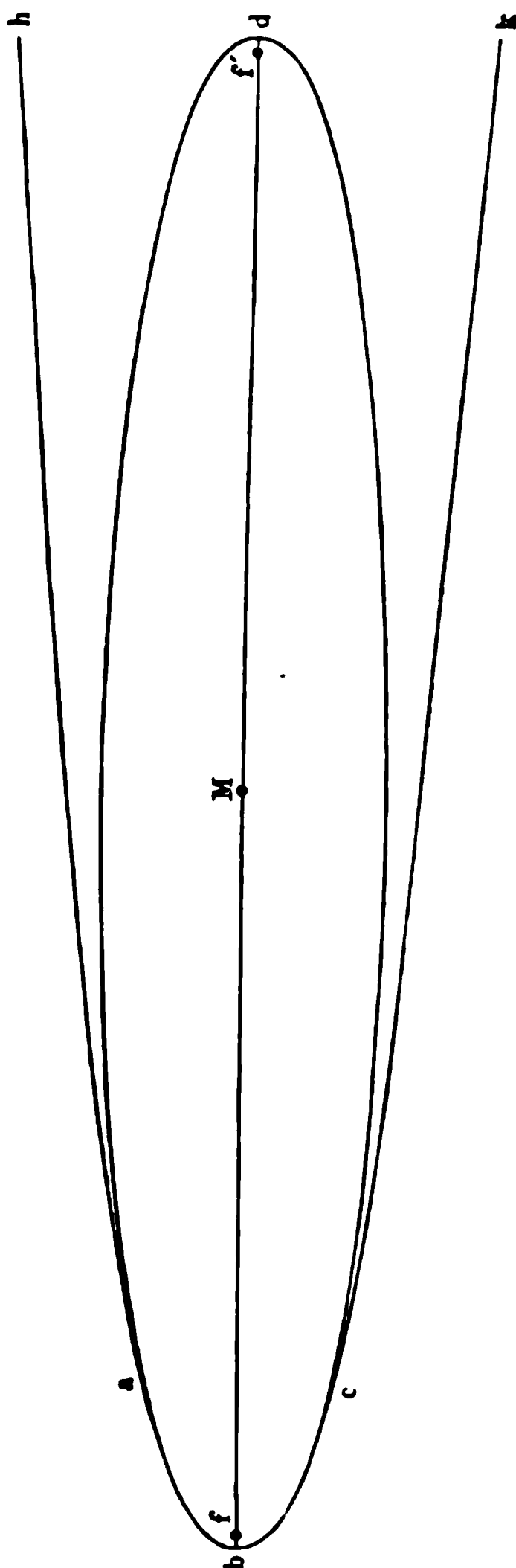
q 0,482 Erdweiten

Halbe grosse Axe (a) 164 Erdweiten

Umlaufszeit 2101,6 Jahre.

wers berechnete die elliptischen Elemente des Kometen II von ie folgt:

Fig. 146.



h	37° 38'
i	55° 39'
p	241' 7"
T	11,5 Jahr
l	1582 ¹² Erdweiten
s	71,2 Erdweiten
Umlaufzeit	75,1 Jahre.

85 Wiederkehrende Kometen. Halley, ein Zeitgenosse Newton's, bemerkte, dass die Elemente der Bahn des schönen Kometen 1682 fast genau dieselben seien, wie die der Kometen von 1607 und 1531. Folgendes sind die fraglichen Elemente.

Komet von	Länge d.	Nähe der Bahn	Länge des Periheliums	Abstand des Periheliums von ☉.
1531	50° 25'	17° 38'	301° 39'	0,57 Erdweiten
1607	50° 21'	17° 2'	302° 16'	0,58 „
1682	50° 45'	17° 42'	301° 36'	0,58 „

Alle drei waren rückläufig. Er wurde dadurch auf den Gedanken geleitet, dass es wohl ein und derselbe Komet sei, welcher in den drei genannten Jahren erschienen war und der eine Umlaufzeit von 75 bis 80 Jahren habe. Er kündigte seine Wiederkehr auf das Ende des Jahres 1758 oder den Anfang des Jahres 1759 an, und in der That ging er am 12. März 1759 wieder durchs Perihelium.

Eine abermalige, voraus angekündigte Erscheinung des Halley'schen Kometen fand im Jahre 1835 Statt, wo er am 16. November das Perihelium passirte.

Die erste durch astronomische Beobachtungen hinlänglich constatirte Erscheinung des Halley'schen Kometen ist die von 1456.

Die halbe grosse Axe der Bahn des Halley'schen Kometen beträgt ungefähr 19 Erdweiten: in seinem Aphelium ist er ungefähr 37,4 Erdweiten von dem der Sonne entfernt.

Im Jahre 1456 erreichte der Schweif des Halley'schen Kometen eine Länge von 60 Graden, und ebenso zeigte er im Jahre 1531 ein schönes Schweif. Im Jahre 1607 dagegen erschien er nicht besonders glänzend und namentlich war sein Schweif sehr klein, was wohl davor lag, dass er der Erde schon lange Zeit vor seinem Perihelium visirte. Im Jahre 1682 erschien er wieder mit starkem Glanz, gleich er dem Kometen von 1680 nicht gleich kam.

Im Jahre 1759 konnte der Halley'sche Komet nur eine kurze Zeit blossen Auge gesehen werden. An Glanz stand er diesmal der Erinnerung von 1682 nach, aber nicht in Beziehung auf die Länge des reifes, welche bis auf 47" stieg.

Die Erscheinung des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 war lich unscheinbar und befriedigte die Erwartungen des grösseren Publikums keineswegs. Durch Fernrohre gesehen, bot er den Anblick Fig. 147. Von dem kleinen Kern, welcher kaum 30 Meilen im Durchmesser haben konnte, ging nämlich eine fächerartige, gegen die Sonne

Fig. 147.



htete Flamme aus, welche sich aber zu beiden Seiten zurückkrümmte so allmählig in den Schweif überzugehen schien. Bessel war geneigt, als eine von dem Kometenkerne ausgehende Strömung einer hellen wie anzusehen, welche später auch am Donati'schen Kometen und an Kometen von 1861 und 1862 beobachtet wurde.

Die nächste Erscheinung des Halley'schen Kometen wird im Jahre 1 stattfinden.

Dies ist der einzige grössere, mit blossen Auge sichtbare Komet, dessen Umlaufsperiode bekannt ist.

Ein zweiter, jedoch nur teleskopischer Komet, dessen Umlaufszeit unnt ist und welcher den Namen seines Berechners führt, ist der Encke'sche Komet; er wurde im November 1818 von Pons in Marseille entdeckt. Encke erkannte, als er nach den beobachteten Oertern eine berechnete, dass er mit den in den Jahren 1786, 1795 und 1805 beobachteten identisch sein müsse. Die Umlaufszeit dieses Kometen beträgt nur 1208 Tage. Sein kleinster Abstand von der Sonne beträgt 1, sein grösster 4,07 Erdweiten. Die Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik ist 13°; die Länge des aufsteigenden Knotens 335°, die Länge

des Periheliums 157° . Der Encke'sche Komet hat eine kugelförmige Gestalt ohne merklichen Schweif.

Dieser Encke'sche Komet ist besonders dadurch merkwürdig, dass seine Umlaufszeit allmählig abzunehmen scheint, indem die Umlaufszeit von 1825 bis 1852 (9 Umlaufsperioden) um 1 Tag abgenommen ist. Olbers suchte diese Erscheinung durch die Annahme eines die Himmelsräume erfüllenden, der Bewegung widerstehenden Mediums zu erklären, eine Annahme, welche übrigens bei keinem anderen Kometen Bestätigung gefunden hat.

Der Biela'sche Komet ist gleichfalls nicht mit bloßem Auge sichtbar; im Fernrohre erscheint er als rundlicher Nebel, dessen Durchmesser im Jahre 1805 nach Olbers 10,6 Erdradien betrug. Im Perihelium ist er 0,94, im Aphelium 6,26 Erdweiten von der Sonne entfernt. Neigung seiner Bahn ist 13° , die Länge des aufsteigenden Knotens 2° , die Länge des Periheliums 108° . Seine Umlaufszeit beträgt 6,7 Jahre.

Dieser Komet war bereits in den Jahren 1772 und 1805 beobachtet worden. Bei seinem Wiedererscheinen im Februar 1826 erkannte Biela seine Periodicität. Bei seinem Wiedererscheinen im December 1846 beobachtete zuerst Maury zu Washington, dass sich der Komet in zwei getheilt hatte. Bei ihrem Durchgang durchs Perihelium am 11. Februar 1846 betrug der Abstand der beiden Kometen 41 900 Meilen. Die Zwillingkometen erschienen als geschweifelte Gestirne.

Die beiden Theilkometen kehrten der Rechnung gemäss im Jahre 1852 zum Perihelium zurück, ihr Abstand war aber bis auf 352 000 geographische Meilen gewachsen. Im Jahre 1859 konnten sie wegen ihrer Lage zur Sonne nicht beobachtet werden. Eine sichtbare Wiederkehr war im Winter 1865/66 zu erwarten, trotz der eifrigsten auf mehr Sternwarten angestellten Beobachtungen konnte aber das Doppelgestirn nicht wieder aufgefunden werden; der Biela'sche Komet scheint verschwunden zu sein.

Tab. XIII. zeigt die auf die Ebene der Ekliptik projecirten Bahnen des Encke'schen und Biela'schen Kometen und ein Stück der Bahn Halley'schen. Das Aphelium des letzteren liegt noch jenseits der Neptunsbahn.

Der Faye-Möller'sche Komet wurde im November 1843 von Faye als eine schweiflose Nebelmasse mit einem hellen Kern entdeckt und die Elemente seiner Bahn von Möller berechnet. Seine Wiederkehr wurde in den Jahren 1851, 1858 und zuletzt im Herbst 1865 beobachtet. Die Umlaufszeit des Faye-Möller'schen Kometen beträgt 7,4 Jahre.

Brorsen's Komet wurde im Februar 1846 als teleskopische kugelförmige und schweiflose Nebelmasse entdeckt. Aus den gemachten Beobachtungen ergab sich eine Umlaufszeit von 5,5 Jahren. Bei seiner Rückkehr im Jahre 1851 wurde der Komet nicht aufgefunden; dagegen wurde er im Jahre 1857 von Bruhns beobachtet. Bei seiner letzten Rückkehr im Jahre 1868 wurde er von Secchi spectroscopisch untersucht; Näheres darüber später.

Ein von d'Arrest im Juni 1851 entdeckter kleiner Komet, dessen ~~er~~ sich nach den Beobachtungen als elliptisch herausstellte, wurde bei ~~er~~ vorausberechneten Rückkehr im December 1857 abermals beobachtet.

Der Komet I. des Jahres 1858 wurde von Bruhns als ein perio-
~~der~~ Komet erkannt und seine Identität mit dem Kometen II. des
~~des~~ 1790 nachgewiesen. Seit 1790 hat dieser Komet unbemerkt fünf
~~läufe~~ von 13,6 Jahren gemacht. Seine Wiederkehr ist im Sommer
~~l~~ zu erwarten, er wird aber wohl schwerlich sichtbar sein, weil er
~~zur~~ Zeit des Perihels in zu grosser scheinbarer Nähe der Sonne
~~den~~ wird.

Winnecke entdeckte im März 1868 einen Kometen, dessen para-
~~che~~ Elemente er mehr übereinstimmend mit denen des Kometen III.
1819 fand, wonach derselbe ein wiederkehrender Komet von 5,5
~~um~~ Umlaufszeit ist. Bei seinem Erscheinen im Jahre 1868 wurde
~~er~~ Komet spectroscopisch untersucht.

Die Meteorite. Während Jupiter, der grösste Planet unseres 89
~~systems~~, einen Durchmesser von 20000 Meilen hat, ist der Durch-
~~er~~ des kleinsten bis jetzt entdeckten, der Clio, nicht ganz 4 Meilen,
~~t~~ also ungefähr 5000mal kleiner. Sicherlich aber können wir an-
~~den~~, dass Clio wirklich nicht der kleinste der um die Sonne kre-
~~en~~ Weltkörper sei, wenn auch die kleineren eben ihrer geringen
~~ension~~ wegen für uns unsichtbar sind. Ein Weltkörper, welcher
~~mal~~ kleiner ist als Clio, würde einen Durchmesser von kaum 1,5
~~zu~~ haben und in gleichem Verhältniss abermals um eine Stufe herab-
~~end~~, würde man zu Körpern kommen, welche kaum einen Durch-
~~er~~ von $\frac{1}{2}$ Millimeter haben. Solche kleinen und kleinsten Welt-
~~er~~ können aber in ungeheurer Zahl um die Sonne kreisen, ohne dass
~~von~~ ihrer Existenz Kenntniss erhalten, wenn sie nicht etwa, in ihrem
~~die~~ Erdbahn kreuzend, unseren Planeten so nahe kommen, dass sie
~~die~~ Oberfläche derselben herabstürzen.

Dass aber von Zeit zu Zeit wirklich mehr oder minder grosse Ge-
~~massen~~, Meteorsteine, Meteorite oder Aërolithe, wie man
~~ennt~~, vom Himmel auf die Erde herabfallen, ist eine durch unzweifel-
~~Zeugnisse~~ hinlänglich constatirte Thatsache.

Der älteste historisch sichere Meteorsteinfall ist wohl der, welcher
~~egos~~ Potamoi in Thracien im Jahre 476 v. Chr. stattfand. Nach
~~ius~~ soll der Stein zu seiner Zeit noch vorhanden gewesen sein und
Grösse eines Wagens gehabt haben.

Chinesische Berichte gedenken eines lange vor dem Beginn unserer
~~rechnung~~ unter heftigen Donnerschlägen aus einer Wolke herab-
~~etzten~~ Aërolithen.

Die „Annales Fuldenses“ berichten von einem grossartigen Meteor-
~~fall~~, welcher im Jahre 823 in Sachsen stattfand, durch welchen Men-
~~n~~ und Vieh erschlagen und 35 Dörfer in Brand gesteckt wurden.

Weitere in Europa vorgekommene bedeutende Meteorsteinfälle aus den Jahren 921, 1010, 1164, 1304 u. s. w. gemeldet.

Ein sehr berühmt gewordener, von Seb. Brandt in Vesungener Steinfall fand am 7. November 1492 zu Ensisheim statt; der ursprünglich 260 Pfund schwere Stein war halb in die Erde eingedrungen. Sein Fall war von einem furchtbaren (Klappf wie die Urkunde sagt) begleitet, welches bis Villin Luzern hin gehört worden sein soll. Nachdem viele Stücke d'geschlagen worden waren, wurde der Rest in die Kirche von E gebracht, wo er sich noch befindet. Dieses Fragment ist von gleicher Farbe, fast schiefbrig und leicht spaltbar. Es enthält 1 und nickelhaltiges Eisen mit eingesprengten Olivinkörnern.

Bei dem ungeheuren zu Crema am 4. September 1511 v'menen Meteorsteinfall sollen 1200 einzelne Steine herabgefallen denen einer 260, ein anderer 120 Pfund wog. Unter Blitz und enthielen diese Gesteinsmassen einer dunklen Wolke.

In späteren Zeiten mehren sich die Nachrichten über Meteorfälle derart, dass eine speciellere Besprechung derselben hier nicht möglich ist. Klein hat in seinem „Sonnen-system“ (Braunschweig) eine Zusammenstellung aller Meteorite gegeben, deren Fall bekannt ist. Dieses mehr als 300 Meteorsteinfälle enthaltende Verzeichniss zählt deren

3 aus dem 15. Jahrhundert.			
15	-	16.	-
23	-	17.	-
40	-	18.	-
216	-	19.	-

Dass die Anzahl der in unserem Jahrhundert bekannt gewordenen Meteorsteinfälle so sehr die aus früheren Jahrhunderten übertrifft, sicherlich nur daher, dass man gegenwärtig derartigen Naturereignissen eine grössere Aufmerksamkeit zuwendet als früher.

90 Ursprung der Meteorite. Der Ursprung der Meteorite bereits im Alterthum richtig erkannt worden. Aristoteles meinte es seien Steine, welche zufällig von heftigen Winden in die Höhe gewirbelt worden wären. Diogenes von Apollonia lehrte richtig, dass sich zugleich mit den sichtbaren Sternen auch un- durch den Raum bewegen und unter Umständen auf die Erde stürzen. Paracelsus lässt die Meteorsteine aus der Sonne, lassen sie aus dem Monde kommen. Montanari behauptete menschlichen Ursprung der Aerolithen, für den sich auch Halley u. Keyne aussprechen. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts begann nach dem Vortrag der Pariser Akademie die Wirklichkeit der Meteorsteinfälle, trotz der vielen zum Theil abartigen Nachrichten, geradezu in Abrede zu stellen. So standen die So-

Laplace im Jahre 1794 in seiner berühmten Schrift „Ueber den Ursprung der von Pallas entdeckten Eisenmasse und einige darin in Verbindung stehende Naturerscheinungen“ für die Existenz und den kosmischen Ursprung der Meteorsteine in die Schranken, ohne jedoch für die nächste Zeit die akademischen Vorurtheile erschüttern zu können. Fürchtete doch Klaproth noch im Jahre 1803 die Analyse eines Meteorsteines zu publiciren, „weil dadurch ein gelehrter Streit entstehen könnte, da man noch zu sehr geneigt sei, das Factum ein Märchen zu halten.“

Da ereignete sich am 26. April desselben Jahres der berühmte Meteorsteinfall zu l'Aigle, im Departement de l'Orne, zu dessen Untersuchung Biot von der Pariser Akademie entsendet wurde. Er bestätigte vollkommen alle darüber eingelaufenen Berichte. Am genannten Tage zu l'Aigle zwischen 1 und 2 Uhr Nachmittags ein kleines fast unregelmäßiges Wölkchen beobachtet worden, aus welchem unter 5 bis 6 Minuten lang andauernden Explosionen Steine herabfielen, deren man 2000 bis 3000 auf einer gegen 2 Meilen langen elliptischen Fläche zerstreut sah. Der grösste davon wog 9 Kilogramm, der kleinste 8 Gramm.

Diesem Falle folgten bald andere, welche alle bis dahin über diesen Zustand gehegten Zweifel zerstreuten. So fielen am 15. März 1806 in der Nähe von Alais unter heftigen Explosionen zwei Steine, einer von 8 und einer von 4 Pfund.

Am 13. März 1807 fiel im Gouvernement Smolensk ein 140 Pfund schwerer Stein nieder und am 22. Mai 1808 fielen zu Stannern in Preussen 200 bis 300 Steine von $\frac{1}{2}$ Loth bis zu 11 Pfund. Am 13. November 1835 wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Bisweilen fällt in Begleitung von Meteorsteinen auch ein schwarzer oder rother Sand oder Staub nieder, während in anderen Fällen solcher meteorischer Staub auch ohne Meteorsteine vorkommt. Es ist wohl nicht zu bezweifeln, dass solche Staubmassen mit den Aërolithen gleicher Natur und gleichen Ursprungs sind.

Ein ohne Zweifel hierher gehöriges Beispiel wurde in den indischen Archiven auf einem nordamerikanischen Schiffe beobachtet; am 14. November 1856, als sich dasselbe ungefähr 60 geographische Meilen südlich von Java befand, fiel ein Regen von feinen schwarzen Kügelchen auf das Verdeck des Schiffes nieder, die wie Bleischrot von der Sorte des kleinen Kalibers aussahen. Der Durchmesser dieser Kügelchen betrug $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ Pariser Linie; die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass sie hohl waren und häufig ein kleines Loch hatten, welches die Oeffnung ihrer Höhlung bildete. Diese vom Magnet stark angezogenen Kügelchen bestanden aus Eisenoxyduloxyd. Reichenbach (Pogg. Ann. CVI, 1859) hat im höchsten Grade wahrscheinlich gemacht, dass diese Kügelchen nicht etwa, wie Ehrenberg meinte, aus javanischen Vulkanen stammen, sondern dass sie wirklich kosmischen Ursprungs seien.

So hat man denn die Heimath der Meteorite nach und nach immer weiter weg legen müssen. Während man ihnen anfangs irdischen Ursprung zuschrieb, liess man sie später aus dem Monde und der Sonne kommen, bis man erkannte, dass man es mit selbstständigen Körpern zu thun habe, welche in selbstständigen Bahnen den Weltraum durchkreuzen.

Zunächst nahm man nun an, dass die Bahnen der Meteorite, welche hier und da die Erdbahn schneiden, planetarischer Natur seien, und man es also hier mit wenig excentrischen Bahnen von verhältnissmässig kurzer Umlaufszeit zu thun habe. bis neuere Untersuchungen bezeugen, dass die Bahnen der Meteorite Parabeln oder doch sehr excentrische Ellipsen, dass sie also nicht den Bahnen der Planeten, sondern denen der Kometen zu vergleichen sind, weshalb denn auch die Besprechung der Meteorite hierher verlegt werden musste.

91 Beschaffenheit der Meteorite. Was nun die chemische Beschaffenheit der Meteorite betrifft, so ist vor allem die Thatfache zu constatiren, dass in denselben bis jetzt kein Element gefunden wurde, welches sich nicht auch sonst auf unserer Erde findet.

Gustav Rose theilt die Meteorite in zwei Hauptclassen ein: Eisenmeteorite und Steinmeteorite. Die Eisenmeteorite bestehen entweder aus gediegenem Eisen, Meteoreisen, oder aus einer Eisenmasse, welche verschiedene Silicate (häufig Olivinkörner) einschliesst, wie dies z. B. bei der Pallas'schen Meteormasse der Fall ist.

Die Steinmeteorite bestehen meistens aus einer, aus verschiedenen Silicaten (grosstentheils Magnesiasilicaten) gebildeten trachytischen Grundmasse, in welche metallisches Eisen mehr oder weniger eingesprenkt ist.

Nach Reichenbach's Schätzung fallen im Durchschnitt jährlich etwa 1000 Meteorsteine auf die Erde: auf 100 Steinmeteorite kommt aber nur 1 Eisenmeteorit: dagegen verwittern die Steinmeteorite sehr rasch, während das Meteoreisen, nachdem sich auf seiner Oberfläche eine schützende Oxydschicht gebildet hat, Jahrhunderte lang erhalten bleibt, so dass man längst gefallene Massen von Meteoreisen, aber keine alten Meteorsteine findet.

Die frisch gefallenen Meteorite sind so heiss, dass man sich nicht ohne Gefahr daran verbrannt hat, und sie sind mit einer feinen, glatten, schwarzen schlackigen Rinde überzogen, von deren Entstehung weiter unten die Rede sein wird.

Das Meteoreisen ist meistens stark nickelhaltig und als charakteristische Eigenschaft desselben betrachtet man die nach dem Entdecker genannten Widmanstätten'schen Figuren, welche hervortreten, wenn man angeschliffene und polirte Flächen von Meteoreisen mit Salpetersäure ätzt. Fig. 148 ist die Copie eines Selbstabdrucks von einem ätzen Meteorereisen von Toluca in Mexico. Schon ein oberflächlicher Blick auf diese Figuren genügt, um daraus die krystallinische Struktur des Meteoreisens zu erkennen.

In verschiedenen Ländern hat man Massen von gediegenem Eisen gefunden, welche mit notorisch gefallenem Eisenmeteoriten die grösste Ähnlichkeit haben, welche nicht allein die Widmanstätten'schen Figuren zeigen, sondern auch stark nickelhaltig sind. Da nun dergleichen Eisenmassen auch dem Gebirgssystem der Gegenden, in denen man sie gefunden hat, völlig fremd sind, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, dass es hier gleichfalls mit meteorischen Massen zu thun hat. Das ersteartige Stück, welches die Aufmerksamkeit der Gelehrten auf sich zog, war eine 1600 Pfund schwere Eisenmasse, welche Pallas im Jahre 1772 in Krasnojarsk am Jenisei auf der Höhe eines Bergrückens fand.

Fig. 148.



Es war es, welcher sich zuerst für den meteorischen Ursprung der Pallas'schen Eisenmasse aussprach.

Weitere Eisenmassen von unzweifelhaft meteorischem Ursprung sind unter anderen: eine im Jahre 1814 auf einem granitischen Karpathen-Berg bei Lénarto gefundene 194 Pfund schwere Masse; eine 12 Ctr. schwere Eisenmasse, welche am Eingange der Pfarrkirche von La Caille (departement Var) liegend, lange den Einwohnern des Dorfes als Sitz gedient hatte u. s. w.

Sehr reich an bedeutenden meteorischen Eisenmassen ist Amerika. Mexico und Brasilien sind solche von 20, 140, 300 und 400 Centnern gefunden worden. Als Ross auf seiner Polarreise im Jahre 1818 mit den Eskimos der Baffinsbay zusammentraf, hatten sie Messer, welche, wie der Nickelgehalt bewies, aus Meteoreisen verfertigt waren. Sie erzählten, dass an der Westküste von Grönland Blöcke gediegenen Eisens herumlägen.

In allen grösseren Mineralien-cabinetten befinden sich jetzt auch Sammlungen von Meteoriten, deren bedeutendste ohne Zweifel die des

Hofmineralien-Cabinets in Wien ist, welche im Sommer 1869 168 S meteorite und 91 Eisenmeteorite enthielt. Unter den Steinriten befindet sich unter anderen ein Bruchstück des Meteorits Ensisheim, mehrere Stücke von L'Aigle, mehrere von Stanner ein 280 Kilogramm schwerer Meteorstein, welcher am 9. Juni 18 Knyahinga in Ungarn gefallen war.

Unter den Meteoreisenmassen der Wiener Sammlung befinden sich drei, deren Fall constatirt ist: ein über 39 Kilogramm schweres Stück, welches am 26. Mai 1751 bei Agram in Croatien, ein über 1 Kilogramm schweres Stück, welches am 14. Juli 1847 bei Braunau in Bayern und endlich ein kleines am 30. Juli 1855 in Nordamerika gefallen ist.

Nach der Wiener Meteoriten-Sammlung dürften wohl die besten sein: die zu Tübingen, ein Geschenk des Herrn von Reichbach, welcher sie zusammengebracht und eine Reihe schätzenswerther Aufsätze über Meteorsteine in Poggendorff's Annalen publici und dann die Sammlungen zu Berlin, Paris und London.

92 Feuerkugeln. Eine zu allen Zeiten ziemlich häufig beobachtete Erscheinung sind Feuerkugeln, welche man mit mehr oder minder Geschwindigkeit hoch durch die Lüfte hinziehen oder auf die Erde stürzen sieht. Die scheinbare Grösse dieser Feuerkugeln ist sehr verschieden, denn man hat solche beobachtet, deren scheinbarer Durchmesser dem des Mondes gleich war bis herab zu solchen, deren scheinbare Grösse die der Venus und des Jupiter nicht übertraf, so dass man kaum mehr von Feuerkugeln reden kann. Bei noch mehr abnehmender scheinbarer Grösse geht das Phänomen der Feuerkugeln allmählig in das der Sternschnuppen über.

Sehr häufig ziehen die Feuerkugeln einen feurigen Schweif nach sich, ähnlich einer Rakete. Während viele Feuerkugeln lautlos verlöschen, sieht man andere unter heftiger Explosion in Stücke zerspringen und in Folge eines solchen Zerspringens hat man in vielen Fällen das Herabfallen von Meteorsteinen beobachtet, so dass es wohl keinem Zweifel unterliegt, dass Meteorsteine und Feuerkugeln zusammengehörige Erscheinungen sind, obgleich einerseits für die Mehrzahl der beobachteten Feuerkugeln ein sie begleitendes Niederfallen von Aërolithen durch Zeugen nachgewiesen und andererseits zahlreiche Meteorsteine (namentlich bei Tage) ohne vorhergegangene Lichterscheinung beobachtet wurden.

Unter den zahlreichen Berichten und Beschreibungen von Feuerkugeln (seit man überhaupt auf dergleichen Erscheinungen aufmerksam ist, vergeht kein Jahr, in welchem nicht mindestens von einem Dutzend Feuerkugeln berichtet wird) mögen hier nur einige wenige Beispiele aufgeführt werden.

Am 19. März 1718 wurde in England ein fast wie die

endes Meteor beobachtet, welches so hell war, dass man den Mond nicht mehr sehen konnte und welches unter heftiger Detonation landete.

Die am 26. März 1751 bei Agram beobachtete und von einem Meteorsteinfall begleitete Feuerkugel hinterliess, wie Haidinger in alten Zeiten aufgezeichnet fand, einen zickzackförmigen Schweif, der noch mehr als drei Stunden dem blossen Auge sichtbar geblieben sein soll.

Zu Siena erschien am 16. Juni 1794 eine Feuerkugel mit langem Schweif, welche mit einem unter heftiger Explosion erfolgten und beständig gewordenen Meteorsteinfall endigte.

Am 5. Mai 1809 sah man zu Aberdeen um 12^{1/2} Uhr Mittags vollem Sonnenschein und wolkenlosem Himmel einen Feuerball mit langem Schweif, welcher fünf Minuten nach seinem Erscheinen unter heftigem Donner zersprang und einen dicken Rauch zurückliess.

Am 17. Juli 1835 sah man zu Mailand am nördlichen Himmel eine grosse, helleuchtende Feuerkugel mit einem lang nachschleppenden Schweife. Dieselbe Feuerkugel erschien zu Stuttgart und Heilbrunn am südlichen Himmel. Wenige Minuten nach ihrem Verschwinden wurde sowohl zu Mailand als auch in Württemberg ein Knall gehört.

Am 12. Februar 1836 Morgens um 6^{1/2} Uhr wurde zu Cherbourg Osten hin eine helleuchtende Feuerkugel wahrgenommen, welche deutliche Rotationsbewegung zeigte und deren scheinbarer Durchmesser dem des Mondes fast gleichkam. Die anfangs langsam sich bewegende Feuerkugel schien bald nach ihrem Erscheinen stillzustehen, schickte dann, einen weissen Schweif nach sich ziehend, pfeilschnell zu entweichen, und endlich in einer Entfernung von ungefähr 12 Meilen unter heftigem Knallen niederzufallen.

In der Nacht vom 4. auf den 5. Januar 1837 wurde bei Vichy, Clermont und mehreren anderen Orten Frankreichs, sowie auch zu Basel, Mannheim und Hildburghausen eine von Nord nach Süd fliegende Feuerkugel beobachtet, welche einen langen Schweif nach sich zog. Aus Zusammenstellung der an verschiedenen Orten gemachten Beobachtungen dieser Feuerkugel berechnete Petit ihren Durchmesser zu 2200 Fuss, den in 1 Secunde durchlaufenen Weg zu 5200 Metern und den Abstand von der Oberfläche der Erde zu 34 Meilen.

Am 6. Juli 1850 wurde zu Bordeaux und zu Toulouse eine von Nord-Nord-West nach Süd-Süd-Ost ziehende Feuerkugel beobachtet. Bei ihrem Erscheinen war sie nach Petit's Rechnungen 32, bei ihrem Verschwinden noch 16 Meilen von der Erde entfernt. Ihren Durchmesser bestimmte er zu 215 Meter, ihre Geschwindigkeit zu 9^{1/2} Meilen in der Secunde.

Am 11. Juni 1867 wurde eine Feuerkugel an vielen weit von einander entfernten Orten beobachtet, so z. B. zu Salzburg, Annecy (Savoie), Genf, Bern, Basel, Frankfurt a. M., Bamberg, Baden, etc., zu Paris und Umgegend u. s. w.

Nach Mittheilungen von Hagenbach erschien das Meteor zu Basel am 8^h 25' als eine Feuerkugel, welche sich raketenartig schnell in ihrem höchsten Punkte (45° von Nord nach West und 12¹/₂° über dem Horizont) etwas zu verweilen schien und sich dann langsam, mit beschleunigter Geschwindigkeit dem Horizonte wieder näherte. Nach dem Verschwinden des Meteors blieb ein feuriger Streifen zurück, welcher nach und nach wolkenartig weiss wurde und welcher anfangs eine schiffen förmige Gestalt hatte. Erst nach Verlauf einer vollen Stunde, während welcher eine Verrückung von ungefähr 3° nach Westen stattgefunden hatte, war die Erscheinung vollständig verschwunden.

Aus der Zusammenstellung der Beobachtungen von Basel, Baden-Baden und Paris hat Hagenbach geschlossen, dass die Feuerkugel über einer 17 Meilen langen Strecke von Dünkirchen bis zu einem zwischen Cambrai und Avesnes gelegenen Punkte sich bewegt habe. Combinirt man die Angaben über die scheinbare Höhe des Meteors zu Basel mit denen von Paris, wo es in einer Höhe von 22¹/₂° über dem Horizont erschien und in einer Höhe von 16° erlosch, so fand das Meteor blitzen in einer Höhe von 7 Meilen Statt.

Im 12. Jahrgang der Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich findet man eine interessante Zusammenstellung verschiedener Beobachtungen dieses Meteors.

93 Höhe, Geschwindigkeit und Grösse der Feuerkugel

Wenn eine Feuerkugel gleichzeitig an zwei hinlänglich weit von einander entfernten Orten beobachtet, d. h. wenn für jeden der beiden Beobachtungsorte die Stelle des Himmelsgewölbes bestimmt wurde, auf welche das Meteor projectirt erschien, so lässt sich aus diesen Angaben seine wahre Höhe über der Erdoberfläche berechnen. Da solche Meteore plötzlich und unvorhergesehen erscheinen und dann auch rasch wieder verschwinden, so kann ihr scheinbarer Ort nicht durch Messung, sondern nur durch Schätzung bestimmt werden. Ferner kann von einer vollkommenen Gleichzeitigkeit der beiden Beobachtungen auch keine Rede sein und somit ist klar, dass die Bestimmungen der wahren Höhe des Meteors, wie solche bereits oben angegeben wurden, keinerlei Ansprüche auf Genauigkeit machen, so dass nur ein grobes Annähern an die Wahrheit die Rede sein kann. So ist aber doch auf solche Weise ermittelt worden, dass die Feuerkugel öfters bis zu einer Höhe von 1 bis 2 Meilen herabsteigen. Von genaueren Bestimmungen der Höhe der Sternschnuppen wird die Rede sein.

Was von der Bestimmung der wahren Höhe gesagt wurde, gilt auch für die Geschwindigkeit. Das Minimum der von Petit für die Feuerkugel berechneten Geschwindigkeit beträgt 2700 (ungefähr 1 Meile) das Maximum aber 76000 Meter (ungefähr 10 Meilen) in der Secunde.

Noch weit unsicherer als die Bestimmungen von Höhe und

richtigkeit sind die Bestimmungen der wahren Durchmesser der Feuerkugeln, welche Petit nach den ihm vorliegenden Angaben zu 0 bis 3900 Meter berechnet hat. Diese Dimensionen übertreffen die von der gefallen Meteorsteinmassen so enorm, dass man sie nicht zusammenreimen könnte, wenn diese Differenz nicht dadurch ihre Erklärung fände, dass die scheinbaren Durchmesser der Feuerkugeln in Folge der Irradiation bedeutend vergrössert erscheinen.

Welch grossen Einfluss die Irradiation auf die Schätzung des scheinbaren Durchmessers von Feuerkugeln ausübt, hat Julius Schmidt gezeigt, welchem es gelang, zu Athen am 19. October 1863 Morgens früh 2^h 55' eine Feuerkugel teleskopisch zu beobachten. Das Fernrohr, welches er hierbei benutzte, war ein Kometensucher von 8 facher Vergrösserung und 4° (acht Monddurchmesser) Gesichtsfeld, welches auf ein besonders zu diesem Zweck construirten Stativ so aufgestellt war, dass es leicht in 2 bis 3 Secunden auf eine beliebige Gegend des Himmels gerichtet werden konnte.

Fig. 149.



Zu der genannten Zeit zeigte sich am südlichen Himmel ein lang-sam nach Westen bewogender Lichtpunkt von der Helligkeit eines Sternes 4. Grösse. Nach 2^h hatte er bereits die Helligkeit eines Sternes 3. Grösse und nach 4^h im grünen Lichte strahlend, die des Sirius erreicht. Bald wurde das Meteor immer nach Westen fortschreitend, so hell, dass die Sterne am Nachthimmel verschwanden und die Stadt Athen in einem Lichte aufzulodern schien. In der 7. Secunde war der scheinbare Durchmesser des Meteors schon so gewachsen, dass ihn Schmidt Rücksicht auf die sicher sehr grosse Irradiation auf 10 bis 15 Bogenminuten schätzte.

Im Ganzen war das lautlos verlaufende Phänomen 21 Secunden sichtbar und die scheinbare Länge seiner Bahn betrug 80°.

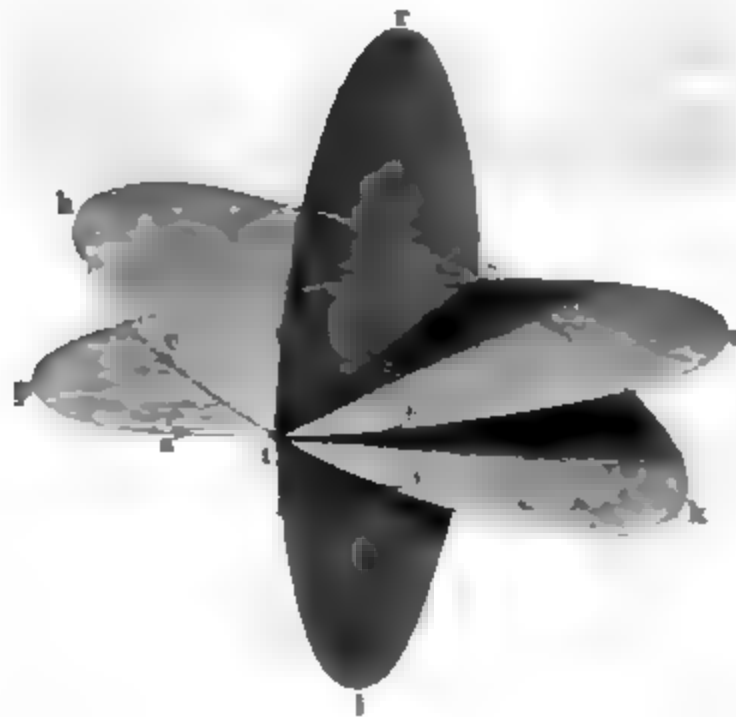
In der 7. Secunde richtete Schmidt das Fernrohr gegen das Meteor und konnte es in seiner langsamen Bewegung noch 14^h lang teleskopisch verfolgen. Es bestand aus zwei grünstrahlenden Stücken von tropfenförmiger Gestalt, welche feuerrothe, ganz gerade, unter sich parallele Linien hinter sich herzogen. Den beiden grösseren Fragmenten folgte ein ganzer Schwarm kleinerer, gleichfalls grün strahlender, deren jedes

eine rothe Feuerlinie hinter sich herzog. In 3 bis 4 Grad Abstand den beiden Kernen flossen alle Schweiflinien in eine rothgelbe runde Masse zusammen.

Fig. 149 (a. v. S.) ist eine Copie der colorirten Abbildung des Meteors, welche man im 45. Bande der Sitzungsberichte der Wiener Academie findet. Nach unmittelbarer Schätzung am Fernrohre betrug der scheinbare Durchmesser des grösseren voraneilenden Kernes um 50 Bogensecunden. Da nun aber auch die Beobachtung durch das Rohr noch mit einer namhaften Irradiation behaftet ist, so ist klar, dass der Durchmesser des Meteors bei der Beobachtung mit unbewaffnetem Auge mindestens 12 bis 18 Mal zu gross geschätzt worden ist.

- 94 **Kosmische Geschwindigkeit der Meteorite.** Unterwirft man nun, wie die oben besprochenen, aus den Beobachtungen abgeleiteten Geschwindigkeiten, mit welchen die Feuerkugeln in die Atmosphäre treten, mit denjenigen Geschwindigkeiten übereinstimmen, welche zukommen müssen, wenn sie als kleine selbstständige Massen nach denselben Gesetzen sich um die Sonne bewegen wie die Planeten oder Cometen.

Fig. 150. a



Für einen Punkt des Erdäquators ist die Geschwindigkeit, mit welcher er um die Erdaxe rotirt, 464 Meter in der Secunde, während die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn 30 400 Meter in der Secunde beträgt. Nehmen wir nun an, dass ein Meteorit in der Erdbahn verläuft, aber in einer Richtung, welche der der Erde entgegen ist, so würden beide Körper (die Wirkung abgerechnet, welche die Anziehung der Erde auf die Meteorite ausübt) mit einer Geschwindigkeit von 60 800 Metern gegen einander fahren.

In Fig. 150 sei s die Sonne, $ptno$ sei die perspectivisch dargestellte Erdbahn, in welcher die Erde t in der Richtung des kleinen Pfeils a rotirt, so wird sie also mit einem Meteoriten, der ihr in der gleichen Bahn in der Richtung des kleinen Pfeiles b entgegenläuft, mit einer relativen Geschwindigkeit von 60 800 Metern zusammenstossen, während einem Meteorit, der sich in der gleichen Bahn wie die Erde und in gleicher Richtung rotirt, die relative Geschwindigkeit gleich Null ist.

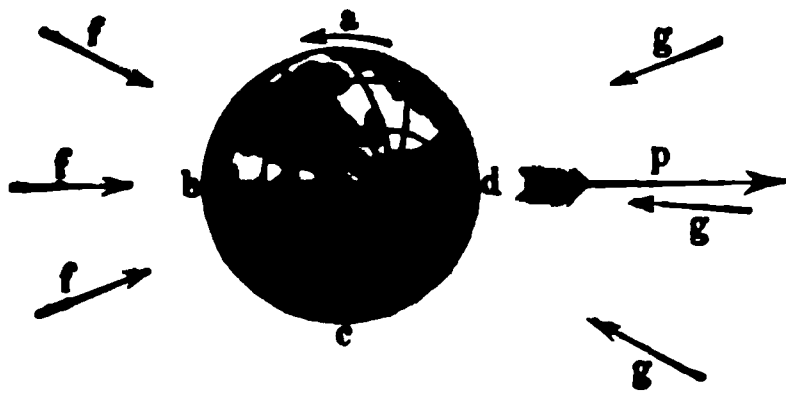
Nehmen wir dagegen an, dass der Meteorit in einem Kreise $tlor$ um die Sonne liefe, welcher zwar gleichen Halbmesser mit der Erdbahn, dessen Ebene aber rechtwinklig auf der Erdbahn steht, so würde der Meteorit für den Fall des Zusammentreffens mit der Erde, die durch die Erde bewirkte Beschleunigung ungerechnet, mit einer Geschwindigkeit von 30 400 Metern auf dieselbe stürzen, welches auch die Richtung ist, mit welcher der Meteorit den Kreis $tlor$ durchläuft.

Macht aber die der Erdbahn gleiche kreisförmige Bahn des Meteorits mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel zwischen 0 und 90 Grad, also z. B. für den Kreis $tkoh$ der Fall ist, so liegt die relative Geschwindigkeit, mit welcher der Meteorit auf die Erde stürzt, zwischen 30 400 Meter, wenn sich der Meteorit rechtläufig, also in der Richtung des kleinen Pfeiles c bewegt, zwischen 30 400 und 60 800, wenn die Richtung seiner Bewegung rückläufig ist, wie es der kleine Pfeil d andeutet.

So liessen sich also schon durch kreisförmige Bahnen der Meteorite verschiedenen Geschwindigkeiten, mit welchen dieselben auf die Erde stürzen, bis zu einer Geschwindigkeit von 60 800 Meter in der Secunde erreichen.

Wenn sich aber die Sache so verhielte, wie wir oben angenommen haben, wenn sich nämlich die die Erdbahn schneidenden Meteorite nahe kreisförmigen Bahnen mit planetarischer Geschwindigkeit bewegten, so würde die Erde der folgenden Betrachtung nach in den Abendstunden von Feuerkugeln getroffen werden können, wie es doch thatsächlich der Fall ist.

Fig. 151.

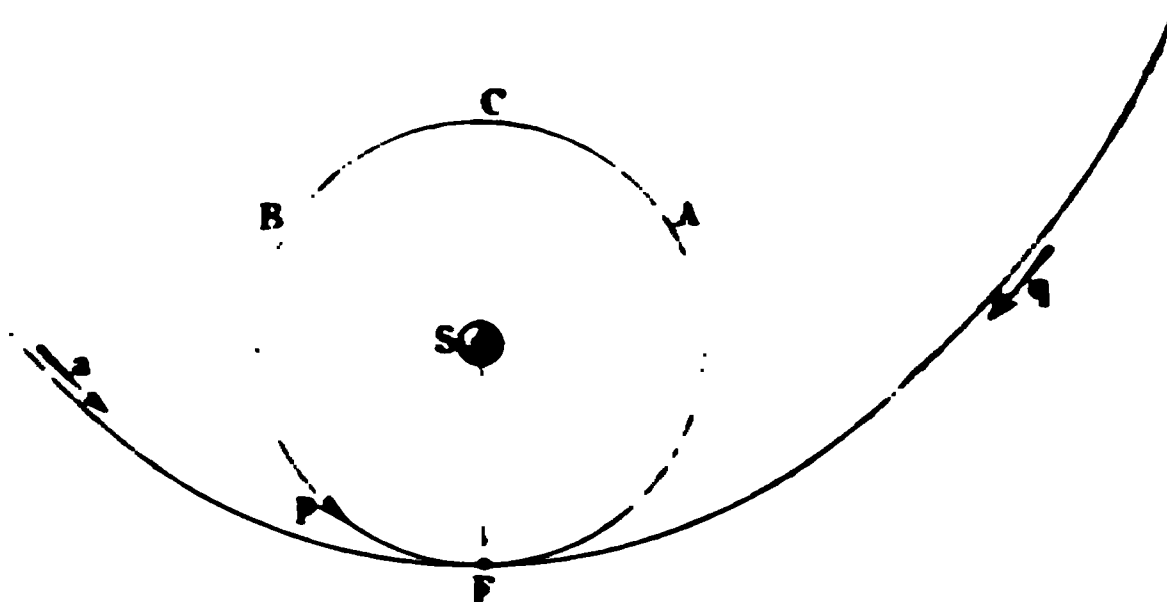


In Fig. 151 stelle $abcd$ die Erdkugel dar, welche von der in der Richtung von a nach oben stehenden Sonne beschienen, in der Richtung

des kleinen Pfeiles bei a um ihre Axe rotirt und in der Richtung gedrehten Pfeiles bei p mit einer Geschwindigkeit von 30 400 Meter der Secunde fortschreitet. Die auf der Erdhälfte abc gelegenen (und namentlich die um b herumliegenden, für welche es gerade Ab ist, werden vorzugsweise nur von solchen Meteoriten getroffen werden können, welche sich nahezu in der Richtung der kleinen Pfeile b also fast in gleicher Richtung sich bewegen wie die Erde selbst. Die der Richtung der Pfeile f sich bewegenden Meteorite würden aber die Erde gar nicht einholen können, wenn ihre Geschwindigkeit nicht grösser wäre als die der Erde, sie würden nicht als Feuerkugeln erscheinen können, wenn sie nicht mit bedeutender Geschwindigkeit in die Atmosphäre eindringen, wenn also ihre absolute Geschwindigkeit namhaft grösser wäre als 30 400 Meter in der Secunde.

Fig. 152.

P



Die Erscheinung von Feuerkugeln in den Abendstunden bezeugt also, dass die Meteorite die Erdbahn mit einer mehr als planetarischen Geschwindigkeit schneiden. Ein Himmelskörper aber, welcher eben so weit von der Sonne entfernt wie die Erde mit einer mehr rechtwinklig zum Leitstrahl gerichteten Geschwindigkeit behaftet, welche die Geschwindigkeit der Erde bedeutend übertrifft, muss notwendig eine sehr langgestreckte Ellipse oder eine Parabel oder auch Hyperbel beschreiben.

In Fig. 152 sei S die Sonne, ABF die kreisförmige Bahn der Erde. Der kleine Pfeil bei p bezeichne die Richtung, in welcher die Erde in ihrer Bahn fortläuft. Wenn nun F das Perihel für einen in elliptischer Bahn um die Sonne laufenden Körper ist, so dessen Geschwindigkeit in F grösser sein als die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, also grösser als 30 400 Meter in der Secunde, grösser aber die Geschwindigkeit ist, mit welcher der fragliche Ki

ihel bei F passirt, desto grösser wird die grosse Axe der Ellipse welche er beschreibt.

Die grosse Axe wird unendlich, d. h. die Ellipse geht in eine Parabel über, wenn sich die Geschwindigkeit des fraglichen Körpers zu der der Erde verhält wie 1069 : 1512,2 (Mathem. Supplementband zum Grundriss der Physik. 2. Aufl. S. 346) oder genauer wie $\sqrt{2}$.

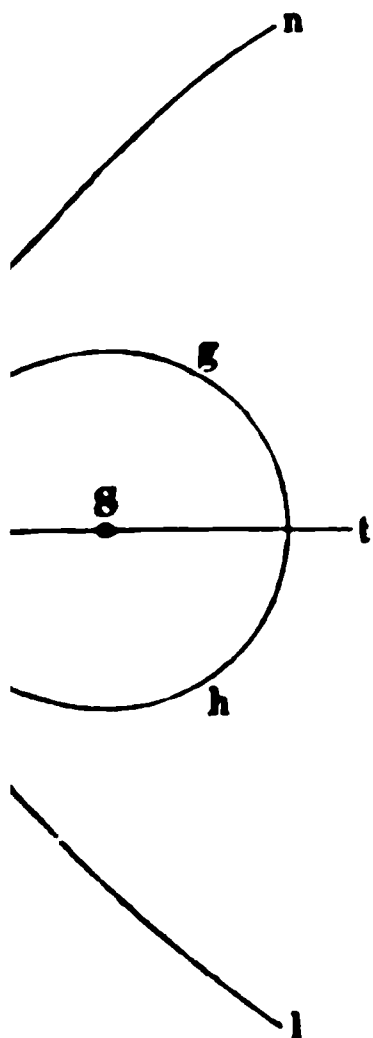
Wenn sich also ein Körper in einer parabolischen Bahn um die Sonne bewegt, deren Periheldistanz gleich dem Halbmesser der Erde ist, so wird dieser Körper das Perihel mit einer Geschwindigkeit, welche

$$30400 \cdot \sqrt{2} = 43107 \text{ Meter}$$

und dies ist das Maximum der Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper nach den Gravitationsgesetzen ein Weltkörper bewegen kann, wenn er sich in gleichem Abstand von der Sonne befindet wie die Erde, seine Bahn aber eine hyperbolische sein.

Wenn die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn sich wie 1 zu $\sqrt{2}$ verhält, mit welcher Geschwindigkeit verhält, mit welcher ein in parabolischer Bahn bewegender Weltkörper sein Perihel passirt, wenn die Periheldistanz gleich dem Abstand der Erde von der Sonne ist, lässt sich auch folgendermaßen beweisen:

Fig. 153.



Es sei agh die kreisförmige Bahn, welche die Erde um die Sonne beschreibt, lan aber sei die parabolische Bahn eines Meteoriten, welcher in a die Erdbahn tangierend in a zugleich ihr Perihel hat; ferner stelle ab den Raum dar, um welchen ein in a befindlicher Körper in der Zeiteinheit gegen die Sonne in S fallen würde, wenn er nicht mit einer bestimmten Tangentialgeschwindigkeit in a ankäme, so ist bc die rechtwinklig gegen at gerichtete Tangentialgeschwindigkeit, mit welcher ein Körper den Punkt a passiren muss, wenn er den Kreis agh und bd ist die Geschwindigkeit, mit welcher er den Punkt a passiren muss, wenn er die Parabel lan beschreiben soll. Nun aber ist die Gleichung des Kreises

$$y^2 + (x - r)^2 = r^2$$

oder

$$y^2 = (2r - x)x \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Man nehme a zum Anfangspunkt der Coordinaten und die Linie at zur x -Axe (Axe der x) nimmt. Die Gleichung der Parabel aber ist

$$y_1^2 = 4rx \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Man bezeichne die Parabel-Ordinaten zum Unterschied von den Kreisordinaten mit y_1 .

begleitet, welche vollkommen hinreichend ist, sie bis zum lebhaften glühen zu erhitzen, wie sich aus folgender Betrachtung ergibt.

Es sei m die Masse der Luft, welche der Meteorit in einer Secunde durchläuft, und v die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher er sich während dieser Secunde bewegt, welche er also der verdrängten Luftmasse theilen musste, so ist die Arbeitsleistung, welche dem Verlust des Meteoriten an lebendiger Kraft entspricht,

$$A = m \frac{v^2}{2g},$$

g die beschleunigende Kraft der Schwere auf der Erde, also 9,8 ist. Für m haben wir aber den in Kilogrammen ausgedrückten

$$m = f \cdot l \cdot \delta,$$

den auf seiner Bahn rechtwinkligen Querschnitt des Projectils in Quadratdecimetern ausgedrückt,

den in Decimetern ausgedrückten Weg des Projectils in 1^{er} (also $l = 10 v$) und

die mittlere Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschicht δ an. Wir haben also

$$m = f \delta 10 \cdot v$$

$$A = f \delta 10 v \frac{v^2}{2g}$$

$$A = f \delta \frac{v^3}{2},$$

wir g in runder Zahl gleich 10 setzen.

Nehmen wir an, die mittlere Dichtigkeit der durchlaufenen Luft sei 10 000 mal geringer als die Dichtigkeit der Luft am Meeresniveau, so ist $\delta = 0,00000013$ (Wasser gleich 1 gesetzt). Nehmen wir $v = 30\,000$ Meter und $f = 1$ Quadratdecimeter, so ergibt sich

$$m = 0,039 \text{ Kilogramm und}$$

$$A = 1\,755\,000 \text{ Meterkilogramm.}$$

Mechanische Arbeit A entspricht aber die Entwicklung von

$$w = \frac{A}{424} = 3903 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

freilich vorausgesetzt ist, dass der Meteorstein rechtwinklig zu Bewegungsrichtung durch eine ebene Fläche begränzt ist. Ist er nach dieser Seite hin durch eine sphärische oder conische Oberfläche begränzt, so ist der zu überwindende Luftwiderstand freilich anders als er oben angenommen wurde, dagegen wird aber auch der Meteorstein beim Eindringen in die Atmosphäre auf seinem 30 000 Meter Wege sehr bald zu Luftschichten kommen, welche bedeutend dichter sind, als es bei obiger Rechnung angenommen wurde.

Um nun zu berechnen, welche Temperaturerhöhung durch die bestimmte Wärmeentwicklung erzeugt wird, haben wir die Gleich

$$MSt + mst = w$$

oder

$$t = \frac{w}{MS + ms'}$$

wenn t die fragliche Temperaturerhöhung, M die Masse und S die specifische Wärme des Meteoriten, m die Masse und s die specifische Wärme der verdrängten Luftsäule bezeichnet, wobei noch ferner voraus ist, dass die gesammte Wärmeentwicklung w nur der Temperaturerhöhung des Steins und der verdrängten Luftmasse zu gute kommt.

Ist der Meteorstein ein Silicat, so können wir für S nahe Werth 0,2 setzen. Den gleichen Werth dürfen wir ohne merklichen (da es sich hier ja ohnehin nicht um genaue Bestimmungen handeln kann) auch für s in Rechnung bringen. Ferner können wir annehmen, dass die Masse M des Meteorits bei 1 Quadratdecimeter Querschnitt ungefähr 3 Kilogramm beträgt. Setzen wir nun diese Werthe von M und s , und die oben berechneten Werthe für w und m in die Gleichung, so kommt

$$t = 6398^{\circ} \text{ C.}$$

Schon die Hälfte, ja der vierte Theil dieser Temperaturerhöhung hinreichen, den Meteorit in die hellste Weissgluth zu versetzen und zu schmelzen.

Wenn die obigen Entwicklungen auch nicht entfernt Ansprüche an Genauigkeit machen, so genügen sie doch vollständig, um darzuthun, dass der Widerstand der Luft, welchen die mit planetarischer Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre eindringenden Meteorite zu überwinden haben, Stande ist sie bis zur Weissgluth zu erhitzen und dass man nicht hat, anzunehmen, dass die Meteorite mit einer Hülle brennbaren Gases umgeben seien, welche sich beim Eindringen in die sauerstoffhaltige Erdatmosphäre entzündet.

Aus den obigen Betrachtungen geht wenigstens mit Sicherheit hervor, dass die kleinen, mit grosser Geschwindigkeit in die Atmosphäre eintretenden Meteorite durch den Luftwiderstand zu einer Temperatur erhöht werden, welche nicht allein ihre glänzende Erscheinung hervorbringt, sondern welche auch hinreicht, ihre völlige Zerstörung und Auflösung bewirken. Nur grössere und mit geringerer Geschwindigkeit eintretende Massen werden bis in die tieferen Schichten der Atmosphäre dringen und hier entweder ebenfalls vollständig aufgelöst oder nur theilweise zerstört, so dass ihre Reste als Aërolithen auf die Erde fallen.

Die Atmosphäre bildet also eine Art von Panzer, durch welchen die Erde vor Meteorsteinfällen geschützt wird; ohne dieselben wäre die Erde dem höchst verderblichen Bombardement ausgesetzt.

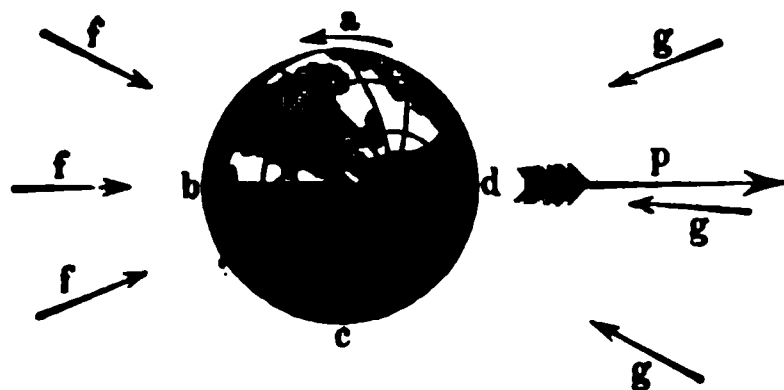
Der Luftwiderstand erklärt auch, zum Theil wenigstens, die Erscheinung, dass Feuerkugeln oft von ihrer geraden Bahn abbiegen.

zurücklaufen; bei unregelmässiger Gestalt der Aërolithen kann ein solches Zurücklaufen in ähnlicher Weise erfolgen, wie bei dem unter dem Namen des Bumerangs bekannten Wurfinstrument der Australier.

Sternschnuppen. Die Sternschnuppen sind von den Feuerkugeln nur quantitativ, nicht qualitativ verschieden. Solche feurige Meteorite, welche uns grösser erscheinen als Jupiter und Venus, werden in der Regel als Feuerkugeln bezeichnet, während man die kleineren Sternschnuppen nennt. Die Sternschnuppen werden also vorzugsweise von solchen Meteoriten herrühren, deren gänzliche Auflösung schon in den höheren Regionen der Atmosphäre unter glänzender Lichterscheinung stattfindet. Es vergeht wohl kaum eine Nacht, in welcher man bei klarem Himmel nicht mehrere Sternschnuppen beobachtet, und zwar scheinen zur Mitternachtszeit in einer Stunde durchschnittlich 4 bis 5, nach anderen Beobachtern 6 bis 8 Sternschnuppen. Vor Mitternacht scheinen sie etwas spärlicher, nach Mitternacht etwas häufiger und am häufigsten gegen 3 Uhr Morgens.

Es erklärt sich dies, wie Schiaparelli zeigte, ganz einfach auf folgende Weise. In Fig. 154 stelle *abcd* die Erdkugel dar, welche von der nach oben hin befindlichen Sonne beschienen wird, so dass auf der einen Hälfte *dab* Tag, auf der anderen *bcd* aber Nacht ist. Die Erde rotirt um ihre Axe in der Richtung des kleinen Pfeiles bei *a*, während sie ihrer Bahn in der Richtung des grossen Pfeiles bei *p* fortläuft. Die Meteorite fliegen also ungefähr parallel der Richtung der kleinen Pfeile bei *f*,

Fig. 154.



oder schneller als die Erde sich bewegend Meteorite werden die Erdhälfte *abc* treffen, während die rückläufig, also nahezu parallel der Richtung der kleinen Pfeile bei *g*, im Weltraume fortlaufenden Meteorite die andere Erdhälfte *cda* treffen. Da nun aber die mit grösserer Geschwindigkeit auf die Erde eindringenden rückläufigen Meteorite schon in den höheren Luftregionen ins Glühen kommen, also vorzugsweise Sternschnuppen erzeugen, so werden sich, gleiche Vertheilung der Meteorite nach den verschiedenen Bewegungsrichtungen vorausgesetzt, die zahlreichsten Sternschnuppen an den Orten der Erde zeigen müssen, welche sich eben zwischen *c* und *d* befinden, welche also bereits in die zweite Hälfte der Nacht eingetreten sind. Die Orte zwischen *b* und *c*,

für welche die Nacht noch nicht bis zur Mitternachtstunde vorgeschritten ist, werden dagegen von Meteoriten rechtläufiger Bewegungsrichtung getroffen, welche ihrer geringeren relativen Geschwindigkeit halber erst in tieferen Luftregionen zum Glühen kommen, also Feuerkugeln und Meteorsteinfälle liefern.

Man kann zu dem gleichen Resultate auch durch folgende Betrachtung kommen. Wäre die Erde unbeweglich im Weltraume, während Meteorite von allen Seiten her mit gleicher Häufigkeit auf dieselbe dringen, so würden alle Theile der Erdoberfläche auch in gleicher Weise getroffen werden, die Häufigkeit der Sternschnuppen müßte alle Stunden der Nacht die gleiche sein. Ständen dagegen die Meteorite unbeweglich im Weltraume, während die Erde in ihrer Bahn fortläuft, so würden alle Stöße nur auf der vorderen Halbkugel (cda in Fig. 1) erfolgen, die in der Richtung der Erdbewegung liegt. Unter diesen Umständen würden also Sternschnuppen überhaupt nur an denjenigen Orten der Erdoberfläche erscheinen können, für welche der Ort des Apex über dem Horizont steht, nach welchem sich die Erde eben hinbewegt, über dem Horizont ist.

Diesen Punkt nennt Schiaparelli den Apex, während Andere ihn als Fliehpunkt bezeichnet haben. Zur Zeit des Sommertrahanten liegt der Apex im Sternbild der Jungfrau, zur Zeit des Wintertrahanten aber liegt er im Sternbild der Fische. Der Apex liegt im Sternbild der Zwillinge zur Zeit der Frühlings- und im Sternbild des Stiers zur Zeit des Herbstäquinocciums.

Befänden sich also die Meteorite unbeweglich im Weltraume, während die Erde in ihrer Bahn fortläuft, so könnten Sternschnuppen nur an solchen Orten erscheinen, für welche der Apex über dem Horizont steht, und zwar würde ihre Häufigkeit mit der Höhe des Apex über dem Horizont zunehmen.

Da nun aber keiner der eben besprochenen Gränzfälle stattfindet, sondern Erde und Meteorite sich im Weltraume bewegen, so wird in Beziehung auf die Erscheinung der Meteore ein Mittelzustand eintreten, die Häufigkeit der Sternschnuppen wird im Allgemeinen mit der Erhebung des Apex über den Horizont zunehmen müssen.

So erklärt sich denn auch die Thatsache, dass ausser der täglichen auch noch eine jährliche Periode der Sternschnuppen auftritt, dieselben im Allgemeinen in den Herbstmonaten am häufigsten erscheinen, denn in den Herbstmonaten steht der Apex in den Morgenstunden über dem Horizont, während er sich im Frühling in den Morgenstunden nicht hoch über denselben erhebt.

97 Die periodischen Sternschnuppenfälle. Eine höchst würdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. September und am 10. August (dem Fest des heiligen Laurentius)

achtet; das letztere Phänomen wird in England schon in einem alten
 Kalender unter dem Namen der feurigen Thränen des heili-
 Laurentius als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt.

Durch Humboldt wurde die Aufmerksamkeit auf das November-
 Phänomen gelenkt, indem er nachwies, dass dasselbe im Jahre 1799 in
 Amerika mit überraschender Pracht auftrat und vom Aequator bis nach
 Nordamerika sichtbar war. Es war ein förmlicher Regen von Sternschnuppen.
 Im Jahre 1832 wiederholte sich die Erscheinung in ähnlicher Weise,
 man sie 1799 beobachtet hatte, im Jahre 1833 aber entwickelte sie
 in einer Grossartigkeit, welche alle früheren Erscheinungen des
 Novemberschwarmes weit übertraf. Auch diesmal blieb die Erscheinung
 Nordamerika beschränkt. Die Sternschnuppen schienen fast wie
 Schwärme zusammengeedrängt, so dass innerhalb 9 Stunden ihrer über
 1000 fielen.

Olmstedt machte bei Gelegenheit des Sternschnuppenfalles im No-
 vember 1833 die wichtige Entdeckung, dass die meisten dieser Meteore
 von einem und demselben Punkte des Himmels auszustrahlen
 schienen, d. h. wenn man in einer Sternkarte oder noch besser auf
 einem Himmelsglobus die scheinbaren Bahnen der beobachteten Stern-
 schnuppen einzeichnet, so bilden sie meist gerade Linien, die von einem
 und demselben Punkte, dem Radiationspunkte, aus divergiren. Nach
 Olmstedt's Beobachtungen beträgt die Rectascension des Radiationspunktes
 für die Sternschnuppen des 13. November 150° und seine nörd-
 liche Declination 21° , er liegt also ganz in der Nähe des Sternes γ im
 Löwen. Nach späteren genaueren Bestimmungen liegt der Ra-
 dationspunkt des Novemberschwarmes bei ϵ leonis.

Nach der Vermuthung von Olbers soll die Erscheinung des Maxi-
 mus des Novemberphänomens an eine Periode von 34 Jahren gebunden
 sein, während der amerikanische Astronom H. A. Newton aus der Ver-
 gleichung älterer Nachrichten über Sternschnuppenfälle eine Periode von
 33 Jahren abgeleitet hatte. Demnach hatte man in den Morgenstunden
 des 4. November 1866 wieder eine massenhafte Erscheinung von Stern-
 schnuppen zu erwarten.

In Folge dieser Vorhersagung hatte man sich an vielen Orten auf
 die Beobachtung der Erscheinung gerüstet, und in der That zeigte sie
 sich in Europa, so weit nicht die ungünstige Witterung die Beobachtung
 verhinderte, sehr brillant. Von den vielen darüber eingelaufenen Berichten
 wollen wir nur anführen, dass man in Greenwich

zwischen 12 und 1 Uhr . . .	2032 Sternschnuppen
1 " 2 " . . .	4860 "
2 " 3 " . . .	832 "

In Berlin beobachtete man um

1 Uhr 50 Minuten . .	43 Sternschnuppen
2 " — " . .	55 "
2 " 10 " . .	48 "

in der Minute. Merkwürdig ist es jedenfalls, dass an allen Beobachtungsorten Europas das Maximum der Sternschnuppenzahl sehr gleichzeitig auftrat, nämlich kurz nach 2 Uhr Berliner Zeit.

In Amerika scheint das Phänomen im Jahre 1866 weniger glänzend gewesen zu sein als in Europa. Im Jahre 1867 sowohl als auch ist das Novemberphänomen wieder in ungewöhnlicher Entfaltung beobachtet worden. Im Jahre 1867 kam dieser Schwarm neuerdings wieder in Nordamerika in der glänzendsten Weise zur Erscheinung gleich der helle Mondschein die Beobachtung störte.

In den Jahren 1866, 1867 und 1868 hat man an verschiedenen Beobachtungsorten den Radiationspunkt des Novemberschwarmes bestimmen gesucht und ist zu Resultaten gekommen, welche alle mit dem bereits von Olmstedt ermittelten zusammenfallen, was sich dann ergibt, dass die gerade Linie, welche man von dem ϵ Leonis zu der Stelle gezogen denken kann, welche die Erde in der Nacht vom 13. auf den 14. November passirt, nahezu die relative Richtung angiebt, in welcher die Meteoriten des Novemberschwarmes auf die Erde einzudringen scheinen.

Der Radiationspunkt der Sternschnuppen des 10. August ist aus den Beobachtungen von Heis, der sich überhaupt um die Erforschung der Sternschnuppen hervorragende Verdienste erworben hat, der Algol im Perseus, wesshalb Schiaparelli die Augustmeteore mit dem Namen der Perseiden bezeichnet. Dieser Bezeichnung entsprechend hat man die Meteoriten des Novemberschwarmes Leoniden genannt.

Uebrigens hat Heis gefunden, dass unter den Sternschnuppen des Novemberschwarmes sowohl wie auch unter denen des Augustschwarmes auch solche vorkommen, welche anderen Radiationspunkten zugehören als die oben genannten und dass es auch für minder dichte Sternschnuppenschwärme anderer Zeiten solche Radiationspunkte giebt.

Die Erscheinung der Sternschnuppen im August zeigt wesentliche Unterschiede von denen des Novembers, welche Boguslawski in folgender Weise charakterisirt. 1) Das Augustphänomen zeigt in der Regel mehrere Tage vor und nach dem Maximum der Erscheinung seinen Verlauf durch eine grössere Anzahl von Sternschnuppen an, während das Novemberphänomen fast immer plötzlich eintritt. 2) Die Intensität der Erscheinung ist bei den Meteoren des August weit geringeren Schwankungen unterworfen als das Novemberphänomen und dieses ist immer an Pracht und Fülle überlegen, ausser bei den Maximumen letzteren, welche alle 33 bis 34 Jahre auftreten.

Um die Höhe zu bestimmen, in welcher die Sternschnuppen zu blitzen und erlöschen, brachte Heis in den Jahren 1851 und 1852 zum Vortheil den elektrischen Telegraphen zur correspondirenden Sternschnuppenbeobachtungen in Anwendung. Nach den correspondirenden Beobachtungen, welche im Jahre 1866 während des Novemberschwarmes in Berlin und Brandenburg angestellt wurden, betrug die mittlere

schel hat dies für einige Sternschnuppen ausgeführt, welche gleich an verschiedenen Orten Englands in den Nächten vom 9. und 10. August 1863 beobachtet worden waren, und folgende Resultate gefunden:

Glanz wie Jupiter	2996	Gramm,
" " Sirius	358	"
" " Wega	29	"
" " α Persei	6	"

Da die Lichtstärke der meisten Sternschnuppen aber weit unter der oben angeführten hellen Gestirne steht, so wird ihre Masse aus Bruchtheile eines Grammes betragen. Die Dichtigkeit der Meteoschwärme, selbst zu Zeiten, wo sie das Maximum der Sternschnuppen liefern, ist immerhin eine äusserst geringe. Nach den Berliner Beobachtungen des Novemberschwarmes von 1867 beträgt für die Zeit des Maximums der Sternschnuppenzahl der Abstand je zweier benachbarten Meteore 15 bis 20 geographische Meilen und nach den in dem Jahre zu Washington und Richmond angestellten Beobachtungen des Sternschnuppenfalles vom 13. auf den 14. November kommt je ein Meteor auf einen Raum von ungefähr 14 000 (geographischen) Kubik-

97 Die Bahnen der Meteoriten im Weltraume. U

periodischen Sternschnuppenfälle zu erklären, muss man annehmen, dass die entsprechenden Meteoritenschwärme geschlossene Ringe in welchen sie nach den Kepler'schen Gesetzen um die Sonne kreisen und welche an bestimmten Stellen die Erdbahn schneiden. Früher nahm man an, dass diese Meteoritenbahnen planetarischer Natur, d. h. also wenig excentrische Ellipsen seien. Genauere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass diese Annahme unhaltbar sei, indem die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite der Erde begegnen, eine bedeutendere ist, als sie nach der planetarischen Hypothese sein könnte.

Man muss deshalb annehmen, dass die Bahnen der Meteoriten, welche uns die periodischen Sternschnuppen bringen, langgestreckte Ellipsen sind, welche die Erdbahn in einem ihrem Perihel nahe schneiden und welche ihrer ganzen Ausdehnung nach mehr oder weniger dicht mit Meteoriten besetzt sind.

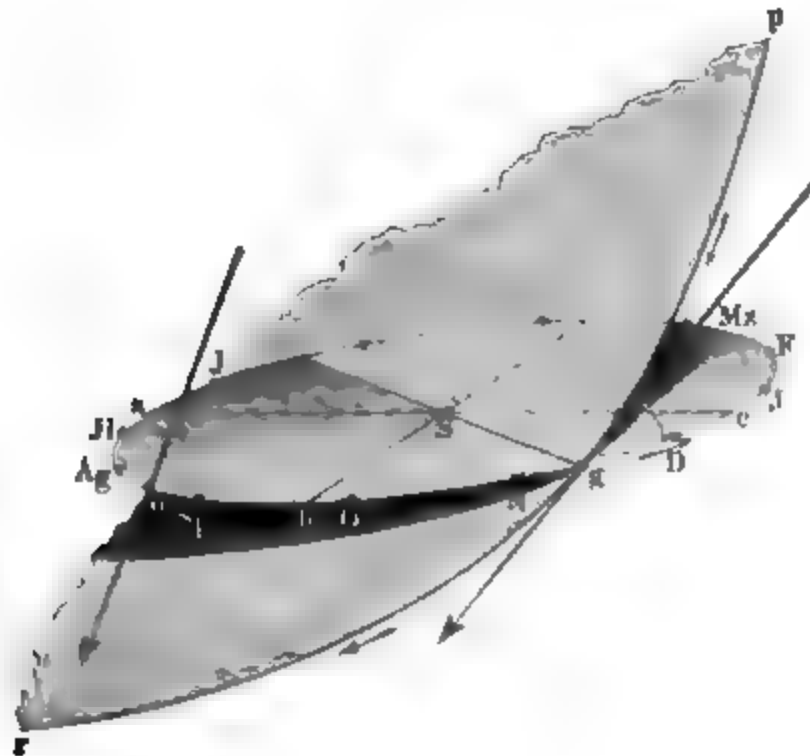
Wie wir aber bereits in §. 87 gesehen haben, fällt eine sehr excentrische elliptische Bahn in der Nähe ihres Perihels so nahe mit der parabolischen des gleichen Brennpunktes und des gleichen Perihels zusammen, dass man an dieser Stelle ohne merklichen Fehler die Parabel für die Ellipse substituiren, also als erste Annäherung einer parabolischen Bahn der Meteoriten berechnen kann.

Eine Parabel ist bestimmt, wenn ihr Brennpunkt, ein Punkt auf der Curve und die Richtung der Tangente gegeben ist, welche in diesem Punkte die Parabel berührt. Diese Data lassen sich nun in der That für die parabolischen Bahnen überhaupt vorausgesetzt, für die bei periodischen Sternschnuppenfällen auf die Erde stürzenden Meteorite ermitteln

Die Sonne nämlich bildet den Brennpunkt der parabolischen Bahn; ein Punkt derselben ist die Stelle, welche die Erde zu der Zeit einnimmt, in welcher der Sternschnuppenschwarm dieselbe trifft. Die Richtung der diesem Punkte der Meteoritenbahn entsprechenden Tangente ergibt sich, wenn der Radiationspunkt für den Sternschnuppenfall bekannt ist. Eine vom Radiationspunkte zu der Stelle gezogene Linie, welche die Erde in dem gegebenen Momente einnimmt, ist die Richtung, in welcher die Meteoriten auf die Erde zu stürzen scheinen, es ist die Richtung der relativen Bewegung der Meteoriten gegen die Erde. Aus dieser relativen Richtung kann man aber die absolute Richtung im Weltraume bestimmen, welcher sie auf die Erde treffen.

In Fig. 156 sei z. B. *S* die Sonne, *abc* die perspectivisch gezeichnete Erdbahn, auf welcher die Stellen bezeichnet sind, in welchen sich die Erde zu Anfang eines jeden Monats befindet. In *a* befindet sie sich

Fig. 156.



zur Zeit des Sommer-, in *c* zur Zeit des Wintersolstitiums, in *b* aber zur Zeit des Herbstäquinocciums. Mit *o* und *g* sind die Stellen bezeichnet, welchen sich die Erde zur Zeit des August- und des Novemberphänomens befindet. Der durch den Punkt *g* gelegte grosse Pfeil giebt die Richtung der Tangente an, welche man sich im Punkte *g* an die parabolische Bahn der Novembermeteore gelegt denken kann. Die durch die Sonne *S* und den Pfeil *g* gelegte Ebene ist die Ebene der Bahn der Novembermeteoriten, von welcher in unserer Figur nur das Stück *pgr* angedeutet ist.

In gleicher Weise stellt der durch *o* gelegte Pfeil die Richtung dar, welcher die Meteorite des Augustphänomens den Punkt *o* der Erdbahn passieren.

Folgendes sind nach Schiaparelli's Rechnung die Elemente der parabolischen Bahn der Perseiden:

Länge des Perihels	343° 38'
Länge des aufsteig. Knotens	138° 16'
Neigung der Bahn	64° 3'
Periheldistanz	0,964° 3'
Bewegung	rückläufig.

Da das Augustphänomen in jedem Jahre mit nahezu gleicher Intensität auftritt, so müssen wir annehmen, dass die Bahn der Perseiden ihrer ganzen Ausdehnung nach gleich dicht mit Meteoriten besetzt sein muss. Anders verhält es sich mit dem Novemberschwarm, für welchen nach 33,25 Jahren ein Maximum der Intensität auftritt. Es deutet darauf hin, dass eine Stelle des elliptischen Ringes weit dichter mit Meteoriten besetzt sein muss, als der übrige Theil desselben, und dass diese dichtere Stelle nach je 33,25 Jahren wieder zum Perihel zurückkehrt ist dadurch die Umlaufszeit der Leoniden gegeben.

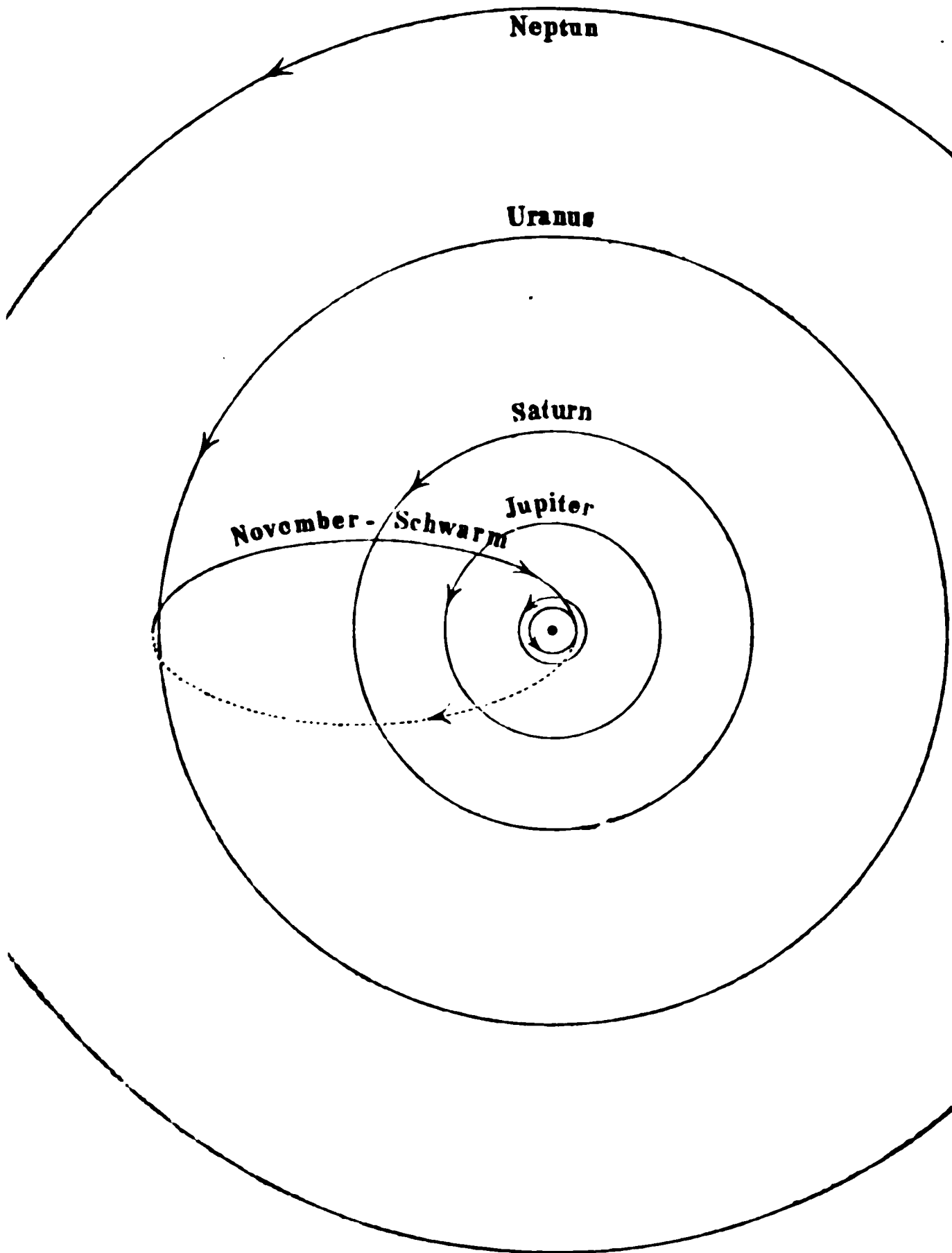
Ist aber ausser den Daten, deren man bedarf, um eine parabolische Bahn für einen Meteoritenschwarm zu berechnen, auch noch die Umlaufszeit desselben bekannt, wie dies für den Novemberschwarm wirklich der Fall ist, so lässt sich nach derselben die elliptische Bahn des Schwarmes berechnen. So sind nach Schiaparelli's Berechnung Folgendes die Elemente der elliptischen Bahn des Novemberschwarmes.

Periheldurchgang 1866	November 10,1
Durchg. durch den niederst. Knoten	„ 13,5
Länge des Perihels	56° 25'
Länge des aufsteigenden Knotens	231° 28'
Neigung der Bahn	17° 44'
Periheldistanz	0,9873
Excentricität	0,9046
Halbe grosse Axe	10,34
Umlaufszeit	33,25 Jahr
Bewegung	rückläufig.

Die Apheldistanz des Novemberschwarmes beträgt demnach 19,691 Millionen Meilen, sie ist also nur um wenig grösser als die Entfernung Uranus von der Sonne. Nach den obigen Daten ist in Fig. 157 die Projection der Bahn des Novemberschwarmes auf die Ebene der Ekliptik gezeichnet, und zwar ist der Theil der Bahn punktirt, welcher sich oberhalb von der Ebene der Ekliptik, oder wie wir sagen wollen, unter der Ekliptik befindet. Während also der Novemberschwarm in seinem niedersteigenden Knoten ganz nahe seinem Perihel die Erdbahn schneidet, liegt sein aufsteigender Knoten sowohl wie auch sein Aphel der Uranusbahn ganz nahe; dagegen geht der Novemberschwarm hoch über und unter der Saturns- und Jupitersbahn her. Wir sehen also, dass die Bahnen der Meteorite in unserem Sonnensystem ganz gleicher Art mit den Kometen

sind, nämlich parabolische Bahnen oder langgestreckte Ellipsen, Ebenen nicht immer in der Nähe der Ekliptik liegen, wie dies für Planetenbahnen der Fall ist, sondern bedeutende Winkel mit der Ekliptik bilden. Ferner sehen wir, dass die Bewegung der Meteoritenbahnen rückläufig sein kann, wie dies auch bei den Kometen der Fall ist, während alle Planeten sich nur rechtläufig um die Sonne bewegen.

Fig. 157.



Die Verwandtschaft zwischen Meteoriten und Kometen tritt aber noch deutlicher dadurch hervor, dass Schiaparelli nachgewiesen hat, dass die Bahnelemente der Perseiden fast ganz genau mit denen der Kometen III vom Jahre 1862 übereinstimmen. Die Bahnelemente der Perseiden sind nämlich:

Periheldurchgang	August 22,9
Länge des Perihels	344° 41'
Länge des aufsteigenden Knotens . .	137° 27'
Neigung der Bahn	66° 25'
Periheldistanz	0,9626
Bewegung	rückläufig.

Auf Grund dieser überraschenden Uebereinstimmung ist Schiapa der Ansicht, dass der Komet III von 1862 ein Bestandtheil der seiden sei.

Da man für den Kometen III von 1862 eine Umlaufszeit von Jahren berechnet hat, so dürfte dies wohl auch die Umlaufszeit der seiden sein, welche sich aus Mangel eines periodisch wiederkehrenden Maximums der Intensität nicht unmittelbar bestimmen liess.

In gleicher Weise stimmen aber auch die Bahnelemente des Kometen I von 1866 mit denen des Novemberschwarmes (der Leoniden) zusammen, denn nach Oppolzer sind dieselben:

Durchgang durchs Perihel 1866 Januar	11,16
Länge des Perihels	60° 28'
Länge des aufsteigenden Knotens . .	231° 26'
Neigung der Bahn	17° 18'
Periheldistanz	0,9705
Excentricität	0,9054
Halbe grosse Axe	10,324
Umlaufszeit	33,176
Bewegung	rückläufig.

Der Bogen des Leonidenringes, welcher dichter mit Meteoriten besetzt ist und welcher nach je 33 bis 34 Jahren das Novemberphänomen in besonderem Glanze auftreten lässt, hat eine solche Länge, dass der Durchgang durchs Perihel 2 bis 3 Jahre dauert, so dass die reichlichen Sternschnuppenfälle des Novemberphänomens 2 bis 3 Jahre hintereinander auftreten. Im Laufe der Zeit müssen aber die Meteoriten, welche gegenwärtig noch an einer Stelle des Leonidenringes bedeutend zusammengedrängt sind als an dem übrigen Theil desselben, sich allmählich und mehr gleichförmig über den ganzen Ring verbreiten, weil die inneren, der Sonne etwas näheren Meteoriten des Ringes, bei etwas grösserer Geschwindigkeit den äusseren Partien des Schwarmes mehr und mehr voraneilen, bis eine gleichmässige Vertheilung der Meteoriten über den ganzen Ring erfolgt ist, wie wir selbe bei den Perseiden beobachten.

Später, bei Gelegenheit der Laplace'schen Theorie über die Entstehung unseres Planetensystems, werden wir noch einmal auf die Verwandtschaft zwischen Kometen und Meteoriten zurückkommen.

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

Mechanische Erklärung der Planetenbewegung durch 98
Newton. Nachdem Kepler die wahren Gesetze der Planetenbewegung aus den Beobachtungen abgeleitet hatte, war es die nächste Aufgabe der Astronomie, die mechanischen Ursachen derselben aufzusuchen, die Planetenbewegung auf mechanische Gesetze zurückzuführen. Es ist Newton's unsterbliches Verdienst, diese grosse Aufgabe gelöst zu haben.

Schon früher hatte es nicht an Versuchen gefehlt, die Kräfte auszumitteln, welche bei der Planetenbewegung thätig sind; man kam aber nicht zu einem Resultate, weil die Vorbedingungen fehlten, ohne welche ein solcher Schritt nicht gemacht werden konnte. Um eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung geben zu können, musste man nicht nur wissen, welches die wahren Gestalten der Planetenbahnen sind und mit welcher Geschwindigkeit sie durchlaufen werden, sondern es mussten die Grundgesetze der Mechanik selbst erst ermittelt sein. Solange man das Wesen und die Gesetze der krummlinigen Bewegung überhaupt nicht kannte, war auch eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung nicht möglich.

Die Begründung der Mechanik ist mit der Entdeckung der wahren Gesetze der Planetenbewegung fast gleichzeitig. Es ist Galiläi, welcher die Gesetze des freien Falles, der Pendelbewegung, der Wurfbewegung kannte, welcher das Gesetz der Trägheit begründete und dadurch gerade der Schöpfer der Mechanik wurde. Das Gesetz der Trägheit zeigt, dass ein Körper, welcher einmal in Bewegung ist, diese Bewegung unverändert beibehält, wenn nicht äussere Kräfte sie aufheben oder modificiren und wie jede krummlinige Bewegung durch die Combination der in Körpern bereits innewohnenden und durch das Beharrungsvermögen

ihm verbleibenden Geschwindigkeit mit den Wirkungen irgend continuirlich wirkenden beschleunigenden Kraft entsteht.

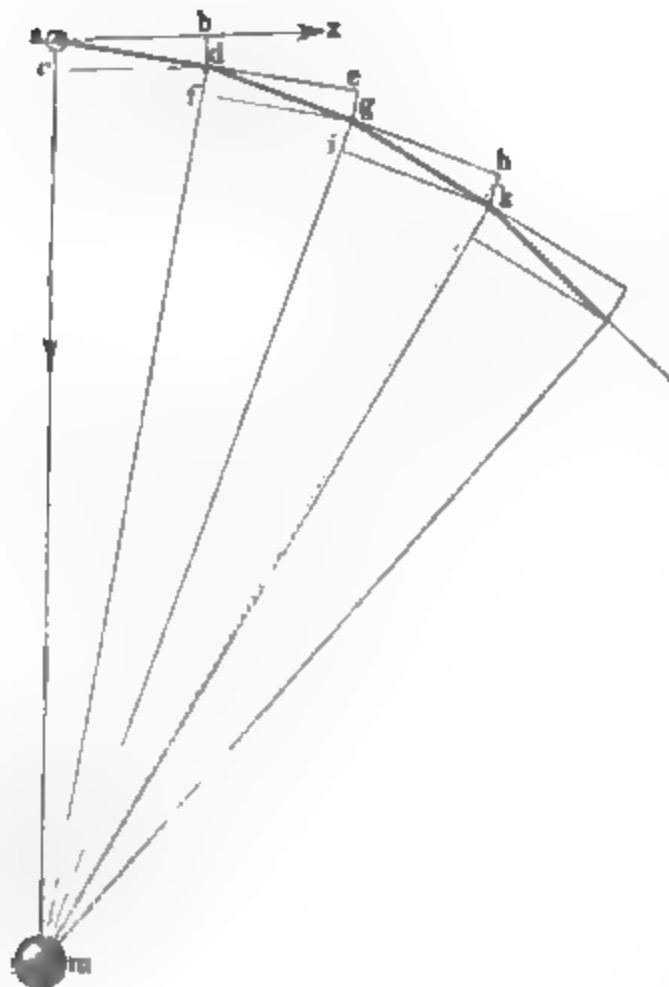
Kepler und Galiläi sind es also, welche den Grund zu dem wissenschaftlichen Gebäude legten, welches durch Newton's Entdeckung allgemeinen Schwere vollendet wurde.

Wie durch die Combination irgend einer beschleunigenden mit der Geschwindigkeit, welche ein Körper bereits hat, überhaupt krummlinige Bewegung entsteht, wie der Körper beständig um festen Anziehungsmittelpunkt kreist, wenn die beschleunigende stets gegen diesen Anziehungsmittelpunkt hin gerichtet ist, wir als bekannt vorausgesetzt (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl. 1. Bd. S. 104). In den folgenden Paragraphen sollen nun die mechanischen Gesetze der Planetenbewegung überhaupt näher betrachtet, zunächst aber an den Kepler'schen Gesetzen die Natur der beschleunigenden Kräfte abgeleitet werden, welche auf die Planeten wirken.

99 Die Planeten werden durch Centralkräfte angetrieben.

Nach dem ersten Kepler'schen Gesetze sind die Flächenräume

Fig. 158.



welche der die Sonne den Planeten verbindende Leitstrahl in gleichen zurücklegt. Aus diesem Gesetz folgt aber, dass die beschleunigende Kraft, auf die Planeten wirkt, gegen die Sonne hin gerichtet sein muss.

Wenn der Planet in kleinen Zeittheilchen dg Fig. 158 zurücklegt, beschreibt der Leitstrahl während dieses Zeittheilchens das Dreieck dgm . In dem gleich grossen Zeittheilchen würde der Planet unter alleinigen Einfluss der Geschwindigkeit, mit welcher er in g ankommt, den Weg gm zurücklegen, welcher dg ist, da aber auch während des zweiten Zeittheilchens eine beschleunigende Kraft auf ihn

so legt er den Weg gk , die Diagonale des Parallelogrammes gk zurück, während des zweiten Zeittheilchens beschreibt also der Lei

als Dreieck gkm , von welchem sich leicht beweisen lässt, dass es gleich hkm und also auch gleich dgm ist.

Die in gleichen Zeiten von dem Leitstrahl beschriebenen Flächenräume sind also gleich, wenn nur die beschleunigende Kraft stets gegen denselben Punkt hin gerichtet ist, nach welchem Gesetze im übrigen die beschleunigende Kraft mit der Entfernung von m sich ändern mag.

Die Eigenthümlichkeit, dass der Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, findet nur dann Statt, wenn der Mittelpunkt, m dem aus man die Leitstrahlen nach dem beweglichen Körper gegen denkt, zugleich der Punkt ist, nach welchem die beschleunigende Kraft stets hinwirkt. Wirkte z. B. auf den in g angekommenen Körper m eine beschleunigende Kraft, deren Richtung nicht in die Linie gm fällt, so würde der Körper am Ende des nächsten Zeittheilchens in irgend einem Punkte p ankommen, welcher nicht auf der mit gm parallelen Linie kk , sondern diesseits oder jenseits derselben liegt, das Dreieck gmp würde also grösser oder kleiner sein als dgm .

Da nun in der That der von dem Planeten zur Sonne gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, so ist klar, dass die Sonne den Centralpunkt bildet, gegen welchen die auf die Planeten einwirkenden beschleunigenden Kräfte stets gerichtet sind.

Abnahme der Centrakraft mit wachsender Entfernung 100 von der Sonne. Aus dem ersten Kepler'schen Gesetze (nach welchem der Leitstrahl des Planeten in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume rücklegt) konnte man nur den Schluss ziehen, dass die Planeten stets gegen die Sonne hingetrieben, wir können also auch sagen, von der Sonne gezogen werden; in welchem Verhältniss aber diese anziehende Kraft zur Sonne zu dem Abstände der Planeten von derselben stehe, das lässt das erste Kepler'sche Gesetz, wie schon bemerkt wurde, völlig unentchieden, denn es findet Statt, welches auch das Gesetz sein mag, welchem das Verhältniss unterworfen ist. Dieses Gesetz ergibt sich aber als nothwendige Folge aus dem dritten Kepler'schen Gesetze.

Nach dem dritten Kepler'schen Gesetze verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände von der Sonne (Seite 146). Bezeichnen wir mit T und t die Umlaufszeiten, mit R und r die mittleren Abstände zweier Planeten, so haben wir also:

$$\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}.$$

Die Mechanik lehrt uns aber, dass, wenn ein Körper um einen Anziehungsmittelpunkt einen Kreis vom Halbmesser r während der Zeit t beschleibt, alsdann die beschleunigende Kraft v , welche den Körper zum Mittelpunkte hintreibt, ist:

$$v = \frac{4 \pi^2 r}{t^2}.$$

Für den Planeten, dessen Umlaufszeit T und dessen mittlere stand von der Sonne R ist, haben wir demnach:

$$V = \frac{4 \pi^2 R}{T^2},$$

folglich:

$$\frac{v}{V} = \frac{4 \pi^2 r}{t^2} \cdot \frac{T^2}{4 \pi^2 R} = \frac{r \cdot T^2}{R t^2}.$$

Nun aber ist $\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}$, folglich haben wir:

$$\frac{v}{V} = \frac{r}{R} \cdot \frac{R^3}{r^3} = \frac{R^2}{r^2},$$

das heisst mit Worten: die beschleunigenden Kräfte, welche Planeten gegen die Sonne hintreiben, verhalten sich umkehrt wie die Quadrate ihrer Entfernung von der Sonne, ein Satz, welches sich wohl a priori voraussehen liess, da es für alle Wigen in die Ferne gilt, insofern wir sie von einem Punkte ausgehen trachten können.

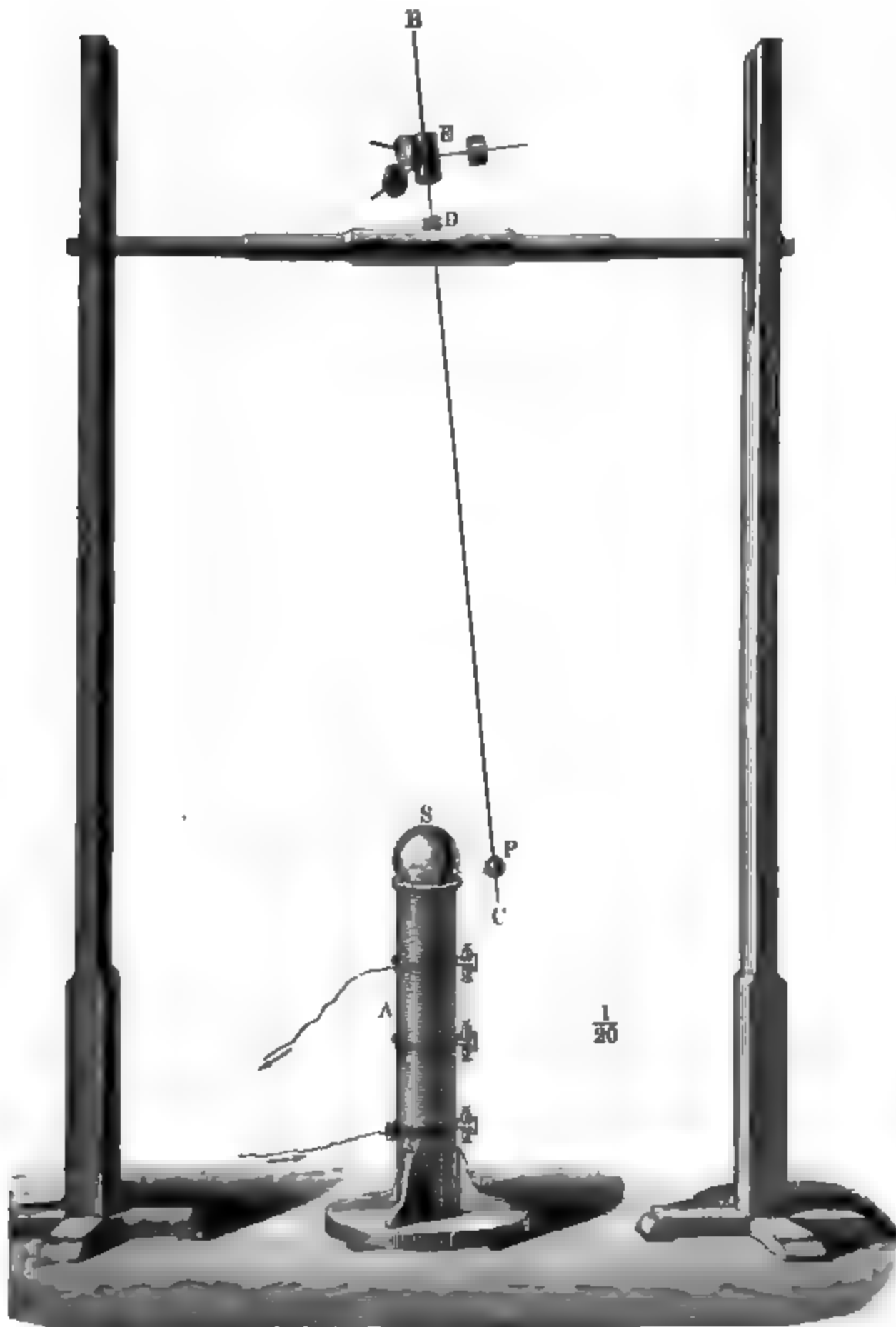
Wird einem Körper, welcher der Wirkung einer Kraft ausgesetzt ist, die ihn stets gegen einen und denselben Punkt hintreibt, und Stärke im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung Centralpunkte steht, auf irgend eine Weise eine seitliche Geschwindigkeit mitgetheilt, so muss er, wie sich mit Hülfe höherer Rechnung nachweisen lässt, eine Curve beschreiben, welche nothwendig ein Kegelschnitt ist, und zwar hängt es von dem Verhältniss zwischen der Centripetalkraft und Tangentialkraft ab, ob die durchlaufene Curve eine Ellipse, Parabel oder eine Hyperbel sein wird. Bei den Planeten kommen nur elliptische Bahnen vor, während bei Kometen möglicherweise parabolische Bahnen vorkommen. Die kreisförmige Bewegung ist ein specieller Fall der elliptischen, da der Kreis als eine Ellipse betrachtet werden kann, deren Excentricität Null ist, deren beide Brennpunkte in einem zusammenfallen.

Da die Trabanten bei ihrem Umlauf um die entsprechenden Planeten gleichfalls die Kepler'schen Gesetze befolgen, so ist klar, dass die Kräfte, mit welchen die Planeten ihre Trabanten anziehen, denselben Gesetzen unterworfen sind, wie die Anziehungskraft, welche zwischen der Sonne und den Planeten wirksam ist.

Zur Demonstration der Kepler'schen Gesetze hat Hagen einen von der Société Genevoise pour la construction d'instruments physiques ausgeführten Apparat erdacht, welchen Fig. 159 in $\frac{1}{4}$ natürlichen Grösse darstellt. In der Mitte steht ein grosser Elektromagnet, dessen Kern noch etwas über die oberste der vier Sp

vorragt und auf welchen eine polirte hölzerne Kugel *S* geschoben

Fig. 159.



a, welche den anziehenden Körper, etwa die Sonne, vorstellt. *BC* ist langer dünner Stahlmagnet. Bei *D* ist dieser Magnetstab vermöge

einer Cardani'schen Aufhängung so befestigt, dass seine Schwere eliminirt ist, dass also der Schwerpunkt des Magnetstabes mit allem was er trägt mit dem Durchschnittspunkte der beiden Schneiden der Cardani'schen Aufhängung zusammenfällt. Um die Lage dieses Schwerpunktes gehörig reguliren zu können, dient das Laufgewicht E , welches an seitlichen Armen noch drei kleinere Laufgewichte trägt, die auf Schrauben laufen. Nahe an seinem unteren Ende trägt der lange Magnetstab BC die kleine Holzkugel P , welche den Planeten darstellt.

Die in Figur 51 Seite 73 dargestellte Cardani'sche Aufhängung ist eigentlich für diesen Apparat construirt; der magnetisirte Stahlstab BC geht durch die Mitte der Hülse ab hindurch, in welcher er befestigt ist.

Die nicht zu beseitigenden Mängel, mit denen der Apparat behaftet ist, bestehen in dem Einfluss des unteren Pols des Elektromagnets und des Erdmagnetismus, dem Widerstand der Luft und dem Umstand, dass sich die Stange BC bei schiefer Lage etwas biegt. Trotz dieser Mängel lässt sich die elliptische Bewegung der Kugel P leicht erhalten, wenn man den Stab aus der senkrechten Lage bringt und der Kugel P einen kleinen seitlichen Stoss giebt. Sehr deutlich zeigt sich dann die schnelle Bewegung im Perihel und die langsame im Aphel. Die verschiedenen Widerstände bewirken allerdings, dass die Ellipse bald kleiner wird und dass die kleine Kugel nach etwa drei Umläufen an die grosse anstösst.

101 Die allgemeine Schwere. Ueber den Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde nachdenkend, kam Newton auf die Idee, ob nicht vielleicht dieselbe Kraft, welche den Stein zur Erde herabfallen macht, also das, was wir die Schwere nennen, weit über die Gränzen der Atmosphäre hinaus, ja bis an den Mond reiche, dass nichts Anderes als die Schwere die Centrakraft sei, welche den Mond in seiner Bahn um die Erde erhält.

Diese Idee lässt sich leicht prüfen. Auf der Erdoberfläche ist die beschleunigende Kraft der Schwere (die Endgeschwindigkeit der ersten Fallsecunde) gleich 9,8088 Meter. Der Mond ist nun 60 mal so weit von dem Centrum der Erde entfernt, als ein Punkt auf der Erdoberfläche, wenn also die Schwerkraft bis an den Mond reicht, so muss dort ihre beschleunigende Kraft 60^2 , also 3600 mal geringer sein als auf der Erdoberfläche, sie wäre also

$$\frac{9,8088}{3600} = 0,002724 \text{ Meter.}$$

Nun aber können wir die Grösse der beschleunigenden Kraft, welche wirklich den Mond nach der Erde hintreibt, aus dem Halbmesser seiner Bahn und seiner Umlaufszeit berechnen. Wir haben:

$$r = \frac{4 \pi^2 r}{t^2} = \frac{2 \pi r \cdot 2 \pi}{t^2}$$

Der Umfang der Erde ist 40 Millionen Meter, also ist der Umfang der Mondbahn, d. h. der Werth $2\pi r$, welcher in obige Gleichung zu setzen ist, gleich 40.60 oder 2400 Millionen Meter. Diesen Weg legt der Mond in 27 Tagen 7 Stunden und 4 Minuten oder in 2 360 580 Sekunden zurück; wir haben also:

$$v = \frac{2400\,000\,000 \cdot 2 \cdot 3,14}{2360580^2} = 0,002761 \text{ Meter.}$$

Wenn wir die kleine Differenz zwischen 0,002724 und 0,002761 vernachlässigen, welche übrigens nur daher rührt, dass wir für die Entfernung und die Umlaufszeit des Mondes statt der vollkommen genauen nur Näherungswerthe in Rechnung gebracht haben, so sehen wir, dass sich derselbe Werth für die beschleunigende Kraft ergibt, welche den Mond zur Erde treibt, mögen wir nun dieselbe aus den astronomischen Beobachtungen oder aus der Hypothese ableiten, dass die Schwerkraft auch noch auf den Mond wirke, dass sie aber im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnehme, und diese Uebereinstimmung ist eben ein Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese.

Newton hatte für den Erdhalbmesser, folglich auch für die Entfernung des Mondes (60 Erdhalbmesser), einen zu kleinen Werth in Rechnung gebracht und fand deshalb, von der Intensität der Schwerkraft auf der Erde ausgehend, die Intensität der Kraft, welche den Mond gegen die Erde treibt, grösser, als die aus den astronomischen Beobachtungen abgeleitete. Der Unterschied war von der Art, dass, in umgekehrter Ordnung aus der Mondbewegung auf den Fall auf der Erdoberfläche schliessend, der Fallraum der ersten Secunde nur 13 Fuss hätte stragen müssen, während er in der That 15 Fuss ist.

Diese Differenz war so gross, dass Newton selbst seine Theorie aufgab, d. h. er gab die Idee auf, dass die Centripetalkraft, welche bei der Mondbewegung thätig ist, mit der Schwere identisch sei.

Zwölf Jahre lang hatte er diesen Gegenstand vollständig liegen gelassen, als er im Juni des Jahres 1682 die Kunde von einer neuen in Frankreich durch Picard ausgeführten Gradmessung erhielt, nach welcher der Durchmesser der Erde grösser, und zwar um $\frac{1}{7}$ grösser war, als man nach früheren, weniger genauen Messungen angenommen hatte. Als bald nahm er seine alten Rechnungen wieder vor und hatte nun die Freude, seine schon aufgegebenen Theorie aufs Vollständigste bestätigt zu sehen.

Die Sonne zieht die Planeten, die Planeten aber ziehen ihre Satelliten an, und die Kraft, welche die Monde gegen ihre Planeten hinzieht, ist identisch mit der Schwerkraft, welche alle Körper niederzieht, die sich auf der Oberfläche der Planeten befinden. Das Gesetz dieser Anziehung, welches unser ganzes Planetensystem beherrscht, lässt sich in folgender Weise aussprechen:

Je zwei materielle Körper ziehen sich mit einer Kraft an,

$$\Gamma = h \frac{m}{R^2}$$

Der Werth der Beschleunigung, mittelst deren ein Satellit um seinen Planeten kreist, wenn r die Entfernung beider bezeichnet und die Masse des Planeten im Vergleich zur Masse m des Planeten als verschwindend betrachtet werden kann.

Für die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluss ein Planet um die Sonne kreist, haben wir auch den Werth:

Sei R , wie oben, der Halbmesser der Planetenbahn und T seine Umlaufzeit ist.

$$\frac{4\pi R}{T^2} = h \frac{M}{R^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$
$$\frac{4 \pi r}{t^2} = h \frac{m}{r^2} 6)$$

Dividiert man die Gleichung 5) durch Gleichung 6), so kommt:

! endlich:

Møller's kosmische Physik.

Nehmen wir die Entfernung des Mondes von der Erde zur L₁ Einheit, so ist $r = 1$ und $R = 400$.

Die Umlaufszeit des Mondes um die Erde beträgt 39 343, die Erde um die Sonne beträgt 525 950 Minuten. Setzen wir nun in obige Formel 7) $t = 39\,343$ und $T = 525\,950$ und ausserdem für R und obigen Zahlenwerthe, so kommt:

$$\frac{M}{m} = 358\,120,$$

d. h. die Masse der Sonne ist 358 120mal so gross als die Masse der Erde. Dieser Zahlenwerth ist jedoch nur eine erste Annäherung an das richtige Verhältniss. Wenn man für Umlaufszeiten und Entfernungen die genauen Werthe setzt und die Masse der Erde nicht gegen die der Sonne, sondern die Masse des Mondes nicht gegen die der Erde vernachlässigt, wie bei obiger Berechnung geschehen ist, so ergibt sich für die Masse der Sonne:

$$M = 355\,000,$$

wenn man die Masse der Erde als Einheit nimmt.

Die Umlaufszeit t' des äussersten Jupiterstrabanten ist 2403 Minuten, seine Entfernung vom Mittelpunkte des Jupiter ist 27 Jupiterhalbmesser oder, in Mondabständen ausgedrückt, $r' = 5,2$. Bezeichnen wir also mit m' die Masse des Jupiter, so haben wir:

$$\frac{m'}{m} = \frac{r'^3 t^2}{r^3 t'^2}$$

und wenn wir für r , r' , t und t' ihre Zahlenwerthe setzen:

$$\frac{m'}{m} = 376.$$

Auch dieser Werth ist nur eine erste Annäherung, der genaue Werth der Jupitersmasse ist 340, wenn man die Masse der Erde zur Einheit nimmt.

Nach derselben Methode findet man, dass die Masse des Saturns 95,2mal, die des Uranus 14,5mal so gross ist als die Masse der Erde.

Es ist bereits oben der wahre Durchmesser der Sonne und der Planeten angegeben worden, und daraus lässt sich dann leicht ihr Volumen berechnen. Setzt man das Volumen der Erde gleich 1, so ergibt sich das Volumen der Sonne, des Jupiter, des Saturn und des Uranus, die zweite Columnne der folgenden Tabelle angiebt.

	Volumen.	Masse.	Dichtigkeit.
Erde	1	1	1
Sonne	1 409 725	355 000	0,252
Jupiter	1491	340	0,227
Saturn	772	102	0,131
Uranus	86,5	14,5	0,167

Die dritte Columne dieser Tabelle enthält die eben besprochenen Werthe für die Massen der genannten Himmelskörper. Man sieht nun gleich, dass die Massen dem körperlichen Inhalte keineswegs proportional bleiben; während z. B. der cubische Inhalt des Jupiter 1491mal grösser ist als der der Erde, so ist die Masse des Jupiter doch nur 340mal grösser als die Masse der Erde, es ist also klar, dass Jupiter weniger dicht sein muss als die Erde.

Dividirt man die Zahlen der dritten Columne durch die entsprechenden Zahlen der zweiten, so findet man die Werthe der Dichtigkeit, wie in der letzten Verticalreihe aufgeführt sind. Die Sonne ist also nahezu 4mal weniger dicht als die Erdmasse; der Jupiter ist nicht ganz so dicht als die Sonne, noch weit weniger dicht aber sind Saturn und Uranus.

Dichtigkeit der Erde. Wir haben eben die Dichtigkeit der Sonne und mehrerer Planeten nur mit der mittleren Dichtigkeit der Erde verglichen, wir wollen nun sehen, auf welche Weise man die Masse und auf Wasser bezogene Dichtigkeit der Erdkugel selbst bestimmen

Ein Bleiloth, welches in einer vollkommen ebenen Gegend im Freien aufgehängt wird, ist stets gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet; wenn sich aber auf einer Seite des Bleiloches eine bedeutende, über die übrige hervorragende Masse, etwa ein Gebirgszug, befindet, so wird diese ebenfalls anziehend auf die Kugel des Lothes wirken und eine Ablenkung desselben aus der Verticalen veranlassen.

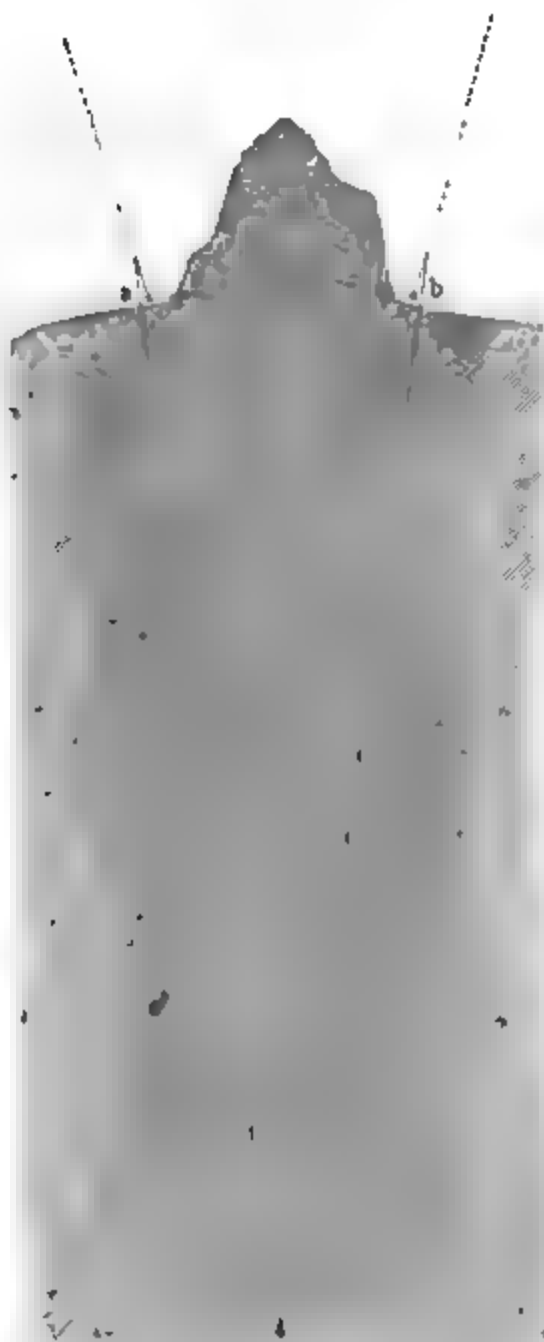
In gleicher Weise wird die Nähe von Gebirgen auch eine Abweichung der freien Oberfläche der Gewässer von der wahren Horizontalen bewirken, da ja dieselbe stets rechtwinklig auf der Richtung des Bleiloches steht.

Bouguer war der Erste, welcher die Idee hatte, in der Anziehung der Gebirge einen Beweis für die allgemeine Anziehung der Materie zu suchen. Er stellte seine Versuche an den Abhängen des Chimborasso an und fand eine Ablenkung des Bleiloches von 7'' bis 8''. Dass bei der bedeutenden Ausdehnung des Gebirges keine grössere Ablenkung gefunden

wurde, rührt wahrscheinlich daher, dass sich grosse Höhlungen in jener vulcanischen Berge befinden.

Sehen wir nun zunächst, wie man im Stande ist, eine Ablenkung der Bleiloths von der Verticalen (d. h. von der nach dem Mittelpunkte der Erde gerichteten Geraden) nachzuweisen.

Fig. 160.



An unseren astronomischen Kreisen bestimmen wir die Ablenkung der Horizontalen mit Hülfe der Neigungsschale, folglich fällt die Richtung der Bleiloths, wie sie uns der Höhe anzeigt, zusammen mit der Richtung der Horizontalen des Bleiloths. Die durch den Kreis gemessene Zenithdistanz eines Gestirnes ist der Winkel, welchen die nach dem Sterne gerichtete Richtung mit der Richtung des Bleiloths macht.

Wenn man nun an zwei Orten *a* und *b*, Fig. 160, welche auf dem Erdmeridian liegen, die Zenithdistanzen eines und desselben Fixsterne zur Culminationszeit bestimmt, so ist der Unterschied der beiden Zenithdistanzen der Winkel, welchen die Richtung des Bleiloths in *a* mit der Richtung des Bleiloths in *b* macht.

So fanden Maskelyne und Maskelyne im Jahre 1772, dass die Zenithdistanzen zweier Orte *a* und *b* desselben Fixsterne, von denen die eine am nördlichen, die andere am südlichen Abhange des Berges Schehallin einen Winkel von 53 Bogenminuten mit einander machten.

Durch geodätische Messungen wurde aber ferner ermittelt, dass *a* 31 Bogenminuten nördlich von *b* lag. Da für Schehallin die Länge eines Breitengrads ungefähr 342500 Fuss beträgt, so entspricht

jene Länge von 3900 Fuss einem Bogen von 41'', d. h. aus der geodätischen Messung folgt, dass *a* um 41'' nördlich von *b* liegt, oder mit anderen Worten, dass die Verticale von *a* mit der Verticalen von *b* einen Winkel von 41 Secunden macht.

Der Winkel, welchen die Bleiloths von *a* und *b* mit einander machen, ist also um 12'' grösser als der Winkel der Verticalen beider Orte; also sind die Bleiloths von *a* und *b* nicht gegen den Mittelpunkt der Erde ge-

sind durch den Einfluss des Berges von der Verticalen abgelenkt, und es beträgt die Summe der Ablenkungen der Bleiloths in a und b $12''$.

Durch eine genaue Vermessung des Berges wurde nun das Volumen des Gebirges bestimmt, woraus sich dann auch die Masse desselben mit hinreichender Genauigkeit berechnen liess, da ja das specifische Gewicht des Gesteins bekannt ist, aus welchem es besteht.

Aus der Ablenkung des Bleiloths ergibt sich aber ferner, in welchem Verhältniss die anziehende Kraft des Berges zur Gesammtanziehung der Erde steht, und da die Masse des Berges bekannt ist, so lässt sich daraus auch auf die Masse und die mittlere Dichtigkeit der ganzen Erdkugel schliessen.

Maskelyne ermittelte auf diesem Wege, dass das mittlere specifische Gewicht der Erde 4,71 sei, ein Resultat, welches der Wahrheit schon sehr nahe kam.

Wir begnügen uns hier, die Methode nur anzudeuten, welche Maskelyne anwandte, um die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen, und zwar um so mehr, da die Berechnung auf diesem Wege eine ziemlich schwierige ist, ohne deshalb so genaue Resultate liefern zu können, wie die Methode, welche im nächsten Paragraphen beschrieben werden soll.

Anwendung der Drehwage zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde. 104 Ein englischer Physiker, Mitchell, konstruirte eine Drehwage, mit deren Hülfe er die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen gedachte; er starb aber, ehe er zur Anstellung der Versuche kam, welche erst nach seinem Tode von Cavendish ausgeführt wurden. Der Grundgedanke des Apparates ist folgender:

An einem dünnen Metalldraht ab , Fig. 161 (a. f. S.), hängt ein horizontaler, gleicharmiger Hebel cd , welcher an seinen Enden die Kugeln e und g trägt. Dem Einfluss aller störenden Kräfte entzogen, wird die ganze Vorrichtung eine solche Stellung annehmen, dass der Draht ab in der Torsion ist.

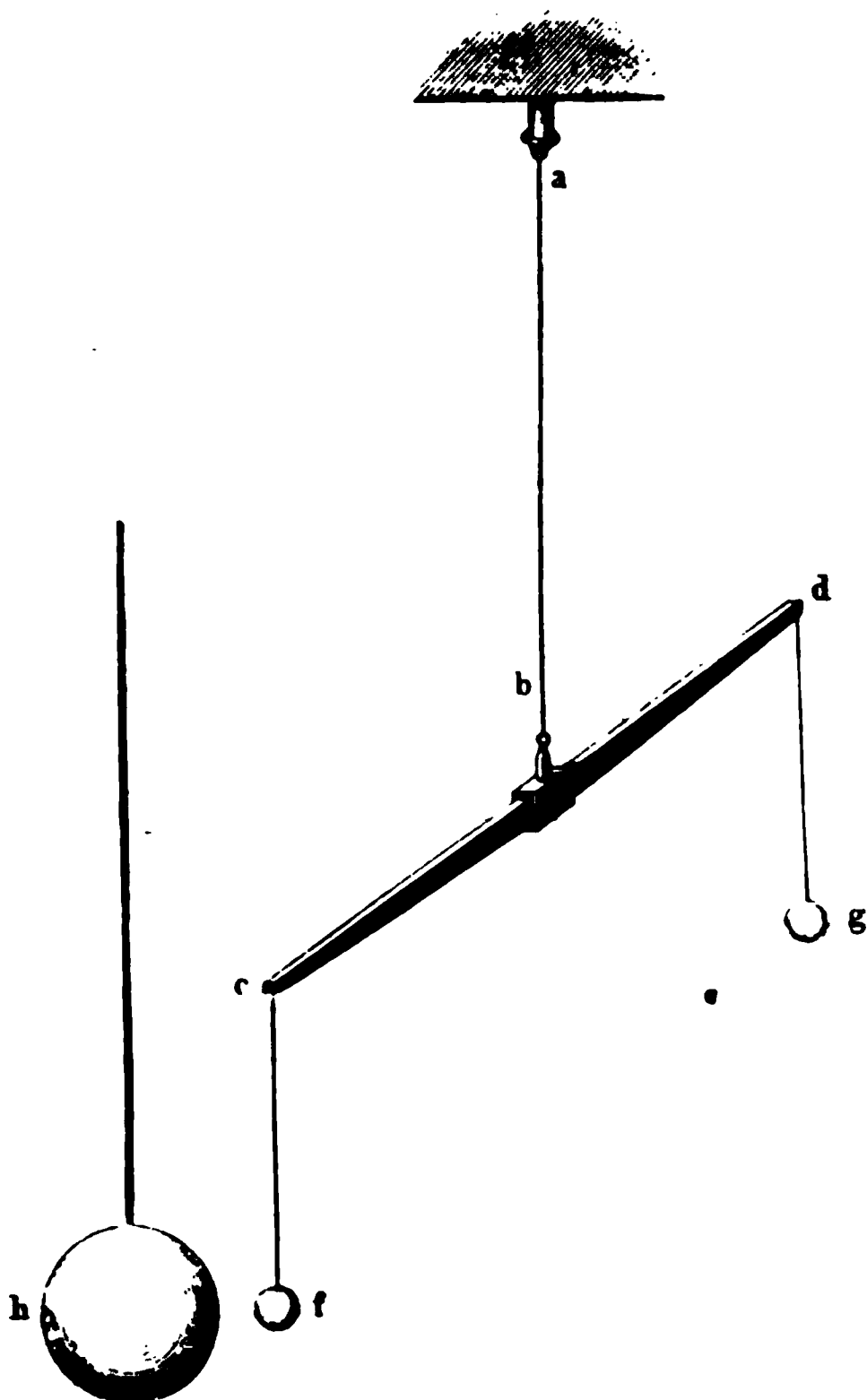
Bringt man nun neben der Kugel f eine Kugel h von bedeutender Masse an, so wird h anziehend auf f wirken, und dadurch wird der horizontale Hebel cd um einen Winkel aus seiner früheren Gleichgewichtslage heraus gedreht, welcher der anziehenden Kraft k proportional ist, mit welcher die Kugeln h und f gegenseitig auf einander wirken.

Die Grösse dieser Kraft k lässt sich aber berechnen, wenn man die Schwingungszeit kennt, mit welcher der horizontale Hebel cd um seine Gleichgewichtslage oscillirt, sobald er auf irgend eine Weise aus derselben ausgebracht worden ist.

Aus dem Verhältniss der Kraft k zu dem Gewichte m der Kugel f (die Kraft, mit welcher die ganze Erdkugel die Kugel f anzieht) ergibt sich dann das Verhältniss zwischen der leicht zu ermittelnden Masse M der Kugel h und der Masse Q der Erdkugel.

Es kommt also vor allen Dingen darauf an, die Ablenkung horizontalen Hebels durch die Einwirkung der Kugel *h*, sowie die Schwingungszeit des horizontalen Pendels *c* möglichst genau zu ermitteln; jeder Zug wirkt aber sowohl auf die Ablenkung als auf die Schwingungszeit, und deshalb ist die ganze Vorrichtung in ein möglichsten Gehäuse eingeschlossen, an einem Orte aufgestellt, an welchem möglichst wenig Temperaturschwankungen zu erwarten sind.

Fig. 161.



Das hölzerne Gehäuse, welches die Vorrichtung einschliesst, hat die Gestalt von Fig. 161. In *AB* befindet sich der Aufhängedraht, welcher den horizontalen Hebel ein und zwei verticalen Arme *cd* und *dg* bildet. Die Kugeln *f* und *g* sind an ihren Aufhängedrähten befestigt. Das Ganze ist in ein möglichsten Gehäuse eingeschlossen, an einem Orte aufgestellt, an welchem möglichst wenig Temperaturschwankungen zu erwarten sind.

Das hölzerne Gehäuse, welches die Vorrichtung einschliesst, hat die Gestalt von Fig. 161. In *AB* befindet sich der Aufhängedraht, welcher den horizontalen Hebel ein und zwei verticalen Arme *cd* und *dg* bildet. Die Kugeln *f* und *g* sind an ihren Aufhängedrähten befestigt. Das Ganze ist

weit, dass dem Hebel *cd* der nöthige Spielraum für die kleine hervorgebrachte Ablenkung und die kleinen Schwingungen bleibt.

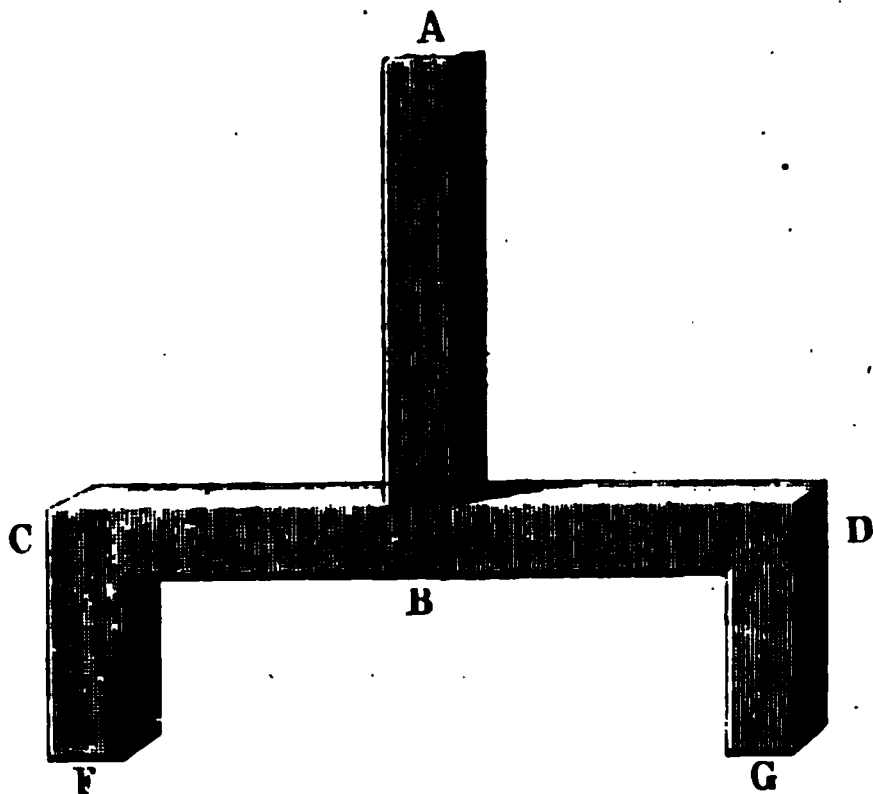
An einigen Stellen ist die Wand des Gehäuses durchbrochen, Oeffnungen aber sind dann wieder durch Platten von Spiegelglas geschlossen, durch welche hindurch man den Hebel und seine Oscillationen beobachten kann.

Cavendish wandte ausser der ablenkenden Masse *h* noch eine zweite, neben der Kugel *g* hängende an, welche die Wirkung der Erde unterstützt; aus seinen, nach der eben angedeuteten Methode angestellten Versuchen ergab sich für die mittlere Dichtigkeit der Erde der Werth 5,48 oder nach Hutton's Revision der Rechnungen 5,32.

Im Jahre 1837 stellte F. Reich neue Versuche über die Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage an. Eine wesentliche Verbesserung des Apparates erzielte er dadurch, dass er ihn mit

oggendorff'schen Spiegelvorrichtung versah, welche auch Gauss mit grossem Vortheil bei seinem Magnetometer angewandt hatte. Der

Fig. 162.



Spiegel war am unteren Ende des Aufhängedrahtes bei *b*, Fig. 161, gebracht. Die ganze Drehwage war an der Decke eines Kellers aufhängt und die Scala durch eine Lampe mittelst eines Hohlspiegels erleuchtet.

Die Grössen, deren Kenntniss zur Berechnung der Masse und Dichtigkeit der Erde nothwendig sind, waren beim Reich'schen Apparat:

Abstand des Aufhängepunktes der Kugeln <i>f</i> und <i>g</i>	
von der Mitte des Hebels	$r = 100,1\text{cm}$
Gewicht der Kugeln <i>f</i> und <i>g</i> wog	$m = 484,2\text{gr}$
Abstand auf den Aufhängepunkt der Kugel reducirte	
Bewicht des halben Hebels sammt dem Gewichte	
der Aufhängevorrichtung	$m' = 34,7\text{gr}$
Abstand der Scala vom Spiegel	$\mu = 4523\text{mm}$
Gewicht der ablenkenden Kugel <i>h</i>	$M = 45006\text{gr}$

Diese Kugel *h* war aus Blei gefertigt, während die Kugeln *f* und *g* aus einer Composition von Blei und Wismuth bestanden.

Ferner ist:

Erde Halbmesser der Erde	$R = 636462400\text{cm}$
Länge des Secundenpendels für Freiberg	$l = 99,4\text{cm}$

Bei einer der von Reich angestellten Beobachtungsreihen ergaben sich folgende Resultate:

Abstand des Mittelpunktes der Kugel <i>h</i> vom	
Mittelpunkt der Kugel <i>f</i> war	$E = 17\text{cm}$
auf der Scale abgelesene Ablenkung der Drehwage	$B = 7,156\text{mm}$
Schwingungszeit der Drehwage	$t = 405''$

Aus diesen Daten lässt sich nun die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde in folgender Weise berechnen.

Bei den Schwingungen der Drehwage hat die Elasticität des Drahtes eine träge Masse in Bewegung zu setzen, deren Trägheit gerade so wirkt, als ob am Ende des Hebels eine Masse $2(m + m')$, in unserem Falle eine Masse von 1038 Gramm angehängt wäre.

Nun aber wirkt die ablenkende Kraft der Kugel h nur auf die Kugel f . Hätte die Elasticität des Aufhängedrahtes nur diese eine Kugel in Bewegung zu setzen gehabt, deren Gewicht $m = 484,2$ Gramm trägt, so würden die Schwingungen schneller gewesen sein, und man würde die Schwingungszeit im Verhältniss von $\sqrt{2(m + m')}$ zu \sqrt{m} genommen haben, kurz die Schwingungszeit t' würde sein:

$$t' = t \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{2(m + m')}} \dots \dots \dots$$

in unserem Falle also:

$$t' = 405 \sqrt{\frac{484}{1038}} = 276,55''.$$

Dies ist also die Schwingungszeit eines einfachen, 100,1 Centim langen Pendels, welches unter dem Einfluss der Elasticität des Aufhängedrahtes schwingt.

Für ein einfaches Pendel von gleicher Länge, welches unter dem Einfluss der Schwerkraft schwingt, würde die Schwingungszeit gewesen sein:

$$t'' = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{l}} \dots \dots \dots$$

in unserem speciellen Falle:

$$t'' = \frac{\sqrt{100,1}}{\sqrt{99,4}} = 1,0035 \text{ Secunden.}$$

Für zwei gleichlange einfache Pendel verhalten sich aber bei jedem Ausschlagswinkel die beschleunigenden Kräfte, welche die Kugel in die Gleichgewichtslage zurücktreiben, umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Bezeichnen wir die beschleunigende Kraft, mit welcher die Elasticität des Aufhängedrahtes die Drehwage in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, mit k , mit K aber die Kraft, welcher die Kugel eines gewöhnlichen Pendels gegen seine Gleichgewichtslage getrieben wird, so haben wir:

$$k : K = t''^2 : t'^2,$$

also:

$$k = K \frac{t''^2}{t'^2}$$

oder:

$$k = K \cdot \frac{r}{l \cdot t'^2} \cdot \frac{2(m + m')}{m} \dots \dots \dots$$

$$k = \frac{K}{75945}.$$
$$\sin. x = \frac{B}{2\mu}.$$
[illegible]

$K = 0,3832$ Gramm.

$$k = \frac{B \cdot r \cdot (m + m')}{\mu \cdot l \cdot t^2} \dots \dots \dots 5)$$

$k = 0,0000050467$ Gramm.

$$m:k = \frac{Q}{R^2} : \frac{M}{E^2}$$
$$Q = \frac{m \cdot M \cdot R^2}{E^2 k} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$
$$Q = \frac{m \cdot M \cdot R^2 \mu l t^2}{E^2 \cdot B r (m + m')}.$$

Setzen wir aber in Gleichung 6) für k, m, M, R und E die früher

Die mittlere Dichtigkeit der Sonne ist also ungefähr die des Buchens, die mittlere Dichtigkeit des Jupiter ist der des Ebenholzes gleich, während Saturn und Uranus in ihrer Dichtigkeit dem Nussbaum- und Ahornholz nahe stehen.

Der Vollständigkeit wegen folgt hier noch, die Erde zur Einheit genommen, die Masse und Dichtigkeit der drei übrigen Hauptplaneten, welche keine Trabanten haben, deren Masse also auf anderem Wege bestimmt werden muss, als der ist, den wir in §. 102 kennen lernten.

	Volumen.	Masse.	Dichtigkeit.
Mercur . .	0,059	0,073	1,225
Venus . . .	0,996	0,885	0,908
Mars . . .	0,136	0,132	0,972

Setzen wir die Dichtigkeit des Wassers gleich 1, so ist die Dichtigkeit
 des Mercur 6,7
 der Venus 5,0
 des Mars 5,3.

Unter allen Planeten ist also Mercur der dichteste, nach ihm die Venus, Mars und Venus stehen der Erde in Beziehung auf mittlere Dichtigkeit sehr nahe.

Grösse der Schwerkraft auf der Oberfläche der Sonne und der Planeten. 106
 Nach §. 101 ist $V = f \frac{m}{\varrho^2}$ das Maass für die Schwerkraft auf der Oberfläche eines Weltkörpers, wenn ϱ den Halbmesser und m die Masse desselben bezeichnen.

Setzen wir die Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde gleich 1; nehmen wir ferner die Masse der Erde zur Masseneinheit, den Radius derselben zur Längeneinheit, so wird auch $f = 1$, und wir haben also für die Schwerkraft auf der Oberfläche irgend eines anderen Weltkörpers

$$V = \frac{m}{\varrho^2},$$

in m und ϱ in den eben bezeichneten Einheiten ausgedrückt werden. Ist der Radius des Jupiter 11,5mal so gross als der Erdhalbmesser, die Masse des Jupiter ist 340mal so gross als die Masse der Erde; so ist für Jupiter

$$V = \frac{340}{11,5^2} = 2,57.$$

Auf diese Weise ergeben sich für die Sonne, den Mond und die neten folgende Werthe für die Schwerkraft auf ihrer Oberfläche:

Namen der Himmelskörper.	Schwere auf der Oberfläche.	Fallraum der ersten Secunde.
Sonne	28,30	424,5 Fuss
Mercur	1,15	17,2 "
Venus	0,91	13,6 "
Erde	1,00	15,0 "
Mars	0,50	7,5 "
Jupiter	2,57	38,5 "
Saturn	1,09	16,3 "
Uranus	1,05	15,7 "
Mond	0,16	2,4 "

Die Masse eines Centners, auf die Oberfläche der Sonne geht wird also dort auf ihre Unterlage einen Druck ausüben, welcher ist dem Druck von 28,3 Centnern auf der Erdoberfläche, während da auf dem Monde die gleiche Masse nahezu 5mal weniger stark auf Unterlage drückt als auf der Erde. Es würde ungefähr gleiche strengung erfordern, um auf der Erde die Masse von 50 Pfunden der Sonne die Masse von 2 Pfunden, oder auf dem Monde die Masse 250 Pfunden zu tragen.

107 **Die Störungen.** Nach dem Newton'schen Gravitations ist die Sonne, wie dies bereits angedeutet wurde, nicht mehr ein ab fester Punkt, und wäre ausser der Sonne nur noch ein einziger P vorhanden, so würde der Planet sowohl wie die Sonne um ihren ge schaftlichen Schwerpunkt eine Ellipse beschreiben. Dieser gemein sliche Schwerpunkt wird dem Mittelpunkte der Sonne um so näher li je kleiner die Masse des Planeten im Vergleich zu dem der Sonne i dass also die Ellipse, welche der Mittelpunkt der Sonne zu beschr hätte, sehr klein wäre im Vergleich zu der vom Planeten beschrieb Mag man aber die Bewegung des Planeten nun auf den gemein slichen Schwerpunkt oder auf den Mittelpunkt der Sonne beziehe würde seine Bahn eine rein elliptische sein, so lange nur ein ein Planet die Sonne umkreiste.

So verhält sich aber die Sache nicht. Die Sonne wird von Planeten umkreist, und jeder dieser Planeten wird nicht allein vo Sonne, sondern zugleich von allen übrigen angezogen. Daraus folgt

die Bewegung eines jeden Körpers im Planetensysteme weit veraltet ist, als wir bisher angenommen haben. Weil aber die Masse Sonne die Masse der Planeten so bedeutend übertrifft, so ist die Bahn jedes Planeten doch nur sehr wenig von der rein elliptischen abweichend.

Die Kepler'schen Gesetze sind demnach nur als Annäherungsgesetze zu betrachten, welche nahezu die wahre Bewegung der Planeten darstellen, aber doch noch Differenzen von derselben zeigen, welche glücklicherweise nicht gross genug waren, um Kepler an der Auffindung der einfachen Gesetze zu hindern.

Die Anziehungen, welche ein Planet von Seiten aller übrigen erleidet, werden ihn also nur sehr wenig von der elliptischen Bahn entfernen, welche er ohne dies verfolgen würde; die Modificationen, welche auf diese Weise in der Planetenbewegung hervorgebracht werden, nennt man Störungen (Perturbationen).

Um die Untersuchung dieser verwickelten Bewegung zu erleichtern, setzt man einen eingebildeten (fictiven) Planeten an, welcher sich in der elliptischen Bahn bewegt, deren Elemente eine allmälige Aenderung leiden, während dann der wahre Planet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite dieses fictiven Planeten oscillirt, ohne sich zu weit von demselben zu entfernen.

Die allmäligen Veränderungen in den Elementen der elliptischen Bewegung des fictiven Planeten nennt man *seculare Störungen*, die Variationen des wahren Planeten aber auf die eine oder andere Seite des fictiven werden *periodische Störungen* genannt. Die allmälige Aenderung der Schiefe der Ekliptik, das langsame Fortrücken des Periheliums der Planeten sind solche *seculare Störungen*, welche die Beobachtung nachgewiesen hat und von welchen die Theorie der allgemeinen Gravitation eine vollständige Rechenschaft giebt.

Eines der merkwürdigsten Resultate, zu denen man geführt wurde, ist, dass man die Störungen der Planetenbahnen zu berechnen suchte, ist dass die grossen Axen der elliptischen Bahnen, auf welchen sich die Planeten bewegen, stets dieselben Werthe beibehalten. Die *secularen Störungen* afficiren alle Elemente der elliptischen Bewegung mit Ausnahme der grossen Axe, welche stets dieselbe bleibt. Da die Umlaufzeit eines Planeten durch das dritte Kepler'sche Gesetz mit der Länge der grossen Axe verknüpft ist, so hat die Unveränderlichkeit der grossen Axe auch die Unveränderlichkeit der Umlaufszeit zur Folge.

Die Excentricität und die Neigung der Planetenbahnen erleiden allmählig fortschreitende Veränderungen. Obgleich nun aber diese Aenderungen Jahrhunderte hindurch in demselben Sinne vor sich gehen, so sind sie dennoch periodisch, wenngleich diese Perioden von sehr langer Dauer sind, so dass weder die Excentricitäten noch die Neigungen der Planetenbahnen über gewisse ziemlich enge Gränzen hinaus ab- oder zunehmen.

In der Gesamtheit der eben angedeuteten Resultate in Betreff grossen Axen, der Excentricitäten und der Neigungen der Planetenbahn besteht das, was man die Stabilität des Weltsystems nennt.

Die Störungen, welche ein Planet auf die übrigen und namentlich auf diejenigen ausübt, deren Bahnen der seinigen zunächst liegen, sind natürlich von ihrer Masse abhängig, und so kommt es, dass man aus den durch einen Planeten erzeugten Störungen auf seine Masse schliessen kann. Dies ist nun auch der einzige Weg, auf welchem sich die Masse derjenigen Planeten ermitteln lässt, welche nicht von Trabanten umkreist sind. Es ist begreiflich, dass die aus den Störungen abgeleiteten Werthe der Masse der Planeten nicht den Grad der Genauigkeit haben wie diejenigen, welche man aus Vergleichung ihrer Trabanten berechnet.

108 Entdeckung des Neptun. Bouvard fand 1821, dass die von Herschel gemachten Beobachtungen des Uranus sich nicht mit denjenigen Bahnelementen in Uebereinstimmung bringen liessen, welche aus den Beobachtungen von 1781 bis 1820 ergeben; aber auch so wich Uranus wieder merklich von der Bahn ab, welche er nach den von Bouvard berechneten Tafeln hätte durchlaufen sollen. Aus den Beobachtungen von 1833 bis 1834 hat Airy nachgewiesen, dass der Radius Vector für diese Jahre von den Tafeln um eine Grösse abweiche, welche die Entfernung des Mondes von der Erde übertrifft.

Daraus ergibt sich nun, dass die Bahnelemente des Uranus verschieden ausfallen, je nachdem man sie aus verschiedenen Beobachtungsperioden ableitet.

Schon Bouvard zeigte, dass sich diese Abweichungen nicht auf von Jupiter und Saturn herrührenden Störungen zurückführen liessen und dass man zu ihrer Erklärung einen noch jenseits des Uranus die Sonne kreisenden Planeten annehmen müsse.

Mädler sagte in dieser Beziehung schon in der ersten Auflage seiner „populären Astronomie“, welche im Jahre 1841 erschien:

„Wenn man beim Saturnslaufe die Störungen des Uranus nicht berücksichtigte, so würde man ganz ähnliche Abweichungen finden, wenn man sehr genaue Saturnsbeobachtungen aus einer langen Reihe von Jahren besessen hätte, so würde es möglich gewesen sein, durch analytische Combinationen den Uranus theoretisch zu entdecken, bevor ihn Herschel aufgefunden hätte, vorausgesetzt, dass alle anderen störenden Massen hinreichend genau bekannt und gehörig in Rechnung gebracht worden wären.“

„Es liegt nun nahe, diesen Schluss vom Saturn auf Uranus um ein Glied weiter zu übertragen und auf einen jenseits des Uranus liegenden und diesen störenden Planeten zu schliessen: ja man kann die Hoffnung aussprechen, dass die Analysis einst diesen höchsten Triumph feiern und durch ihr geistiges Auge Entdeckungen in den

n machen werde, in welche das körperliche Auge bis dahin einzugehen nicht vermochte.“

Diese Hoffnung ist bald auf das Glänzendste in Erfüllung gegangen. Nachdem sich Leverrier von Neuem überzeugt hatte, dass man die bekannten Planeten die Störungen des Uranus nicht erklären konnte, unternahm er es, den Ort und die Masse des noch unbekannten Planeten zu berechnen, welcher die fraglichen Abweichungen verursache.

Adams in Cambridge bearbeitete gleichzeitig denselben Gegenstand, dass Einer von den Bestrebungen des Anderen Kenntniss hatte.

Gelehrte gelangten ganz unabhängig von einander zu demselben Resultat, indem sie den Ort am Fixsternhimmel bestimmten, wo der neue Planet zu suchen sei. Ihre Resultate stimmen fast ganz genau überein. Leverrier publicirte indess seine Arbeit früher als Adams. Am September 1846 erhielt Galle in Berlin die Nachricht von dem Resultat der Leverrier'schen Rechnungen, und es gelang ihm in der That, als er das Fernrohr nach der bezeichneten Stelle des Himmels richtete, den gesuchten Planeten aufzufinden, welcher alsbald den Namen Neptun erhielt.

Störungen der Kometen. Die Kometen erleiden, wenn sie in 109 Nähe von Planeten kommen, so grosse Störungen, dass ihre Umlaufsdauer bedeutend vergrössert oder verkleinert, ja dass ihre Bahn verändert wird, dass sie mit ihrer vorherigen Gestalt gar keine Aehnlichkeit mehr hat.

Ein merkwürdiges Beispiel der Art liefert uns der Komet von 1770. Er kam so nahe der Erde bis auf 360 000 Meilen genähert, und die beobachteten Orte wichen so sehr von einer parabolischen Bahn ab, dass man eine elliptische Bahn zu berechnen suchte. In der That genügten die Beobachtungen eine Ellipse, deren grosse Axe 3,14 Erdweiten betrug, bei einer Umlaufszeit von 5 Jahren 209 Tagen.

Aber weder vorher noch nachher ist dieser Komet wieder beobachtet worden. Wenn man für die erwähnte elliptische Bahn rückwärts rechnet, findet sich, dass der Komet im Mai 1767 dem Jupiter so nahe war, dass die Wirkung dieses Planeten momentan stärker als die der Sonne ausübte; erst durch diese Einwirkung wurde der Komet in die Bahn gebracht, in welcher man ihn 1770 beobachtete, während er bis dahin ganz andere Bahn verfolgt hatte. In seiner neuen Bahn kam der Komet im Jahre 1776 abermals ins Perihelium, konnte aber nicht beobachtet werden, weil zu dieser Zeit die Sonne gerade zwischen dem Kometen und die Erde zu stehen kam.

Man hat aus den Beobachtungen von 1770 berechneten Ellipse fortgerückt, musste aber diesen Komet im August 1779 dem Jupiter abermals sehr nahe, und zwar so nahe kommen, dass er zwischen dem Planeten und dem vierten Satelliten hindurchging. In dieser Nähe musste er

vom Jupiter eine 24mal stärkere Wirkung erfahren als von der und dadurch wurde er wieder vollständig aus der Bahn gebracht, seit 1767 verfolgt hatte, weshalb er denn auch im Jahre 1781 nicht beobachtet wurde, wo man eine sichtbare Wiederkehr desselben erwarten können, wenn er nicht durch jene Störungen aus der Bahn 1770 wäre abgelenkt worden.

Nach den früher bestimmten Bahnelementen sollte die Rückkehr Halley'schen Kometen gegen Anfang des Jahres 1758 stattfinden. Clairaut's Rechnungen hatte er aber seit seinem letzten Erscheinen bedeutende Störungen erlitten, und nach denselben war seine Rückkehr durch den Jupiter ungefähr um 518, durch Saturn um 100 Tage verzögert worden, so dass sie erst in der Mitte des April 1759 zu erwarten war. In der That ging der Halley'sche Komet am 12. März 1759 durch das Perihelium.

Während also einerseits die Kometen sehr bedeutende Störungen durch die Planeten erfahren, hat man bis jetzt noch keine Störungen nachweisen können, welche die Planeten durch Kometen erlitten, woraus sich ergibt, dass die Masse der Kometen sehr klein im Verhältniß zu der Masse der Planeten sein muss.

Wäre z. B. der Komet von 1770 an Masse der Erde gleich, so hätte er in seiner Erdnähe solche Störungen hervorgebracht haben, die das Erdjahr dadurch um fast 3 Stunden verlängert worden wäre. Aber nicht die mindeste Verlängerung der Jahresdauer bemerkt während eine Verlängerung von 2 Secunden der Beobachtung nicht entgehen können, woraus denn folgt, dass die Masse des Kometen von 1770 gewiss noch nicht $\frac{1}{5000}$ der Erdmasse sein kann.

110 Störungen der Mondsbahn. Die raschen Aenderungen, welchen die Elemente der Mondsbahn unterworfen sind (§. 69, S. 169), sind die Folge bedeutender störender Kräfte. Für den Mond ist die Erde der Centralkörper, und wenn sie nebst dem Monde allein im Raume sich befände, so würde der Mond eine Ellipse beschreiben, deren einen Focuspunkt die Erde einnimmt und deren Gestalt eben so unveränderlich wäre wie ihre Lage im Raume. Nun aber wirkt die Sonne auf den Mond als störender Körper, und in Folge ihrer so bedeutenden Anziehung sind auch die Störungen, welche sie im Mondslauf hervorbringt, sehr bedeutend.

Die Erde wird ebenso wie der Mond beständig von der Sonne angezogen, und indem sie ihre Bahnen durchlaufen, fallen sie gewissermaßen stets gegen diesen Centralkörper hin. Wenn nun die Anziehung der Sonne auf die Masseneinheit des Mondes und auf die Masseneinheit der Erde immer gleich wären, so würde der Fall beider Weltkörper gegen die Sonne hin ganz derselbe sein; ihre gegenseitige Stellung würde dadurch nicht alterirt werden, der Mond würde ganz so um die Erde kreisen, als ob die Sonne gar nicht vorhanden wäre.

erhält es sich aber nicht. Die Anziehung, welche die Sonne auf die Mondmasse ausübt, ist bald grösser, bald kleiner, als die, mit welcher die Einheit der Erdmasse von der Sonne angezogen wird, und daraus gehen dann Störungen hervor, deren vorzüglichste wir schon früher kennen lernten.

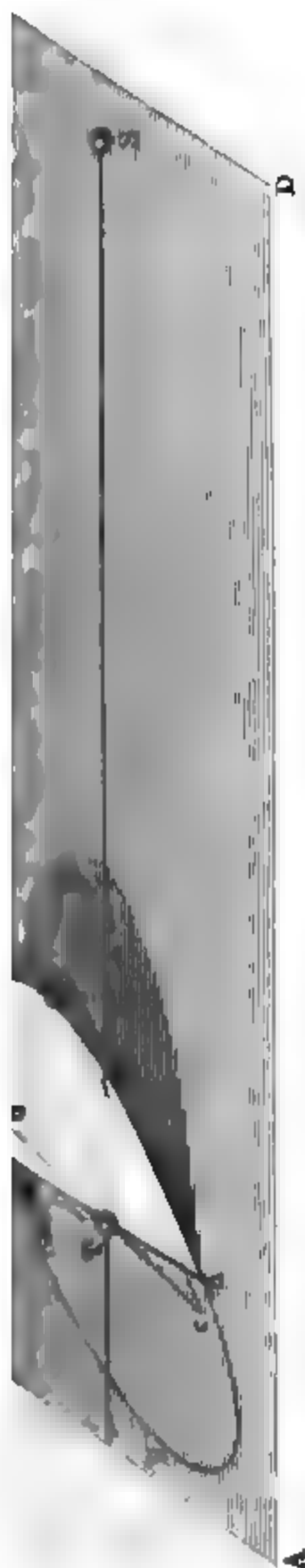
Zur Zeit des Neumondes ist der Mond der Sonne näher als die Erde, also wird zu dieser Zeit die Einheit der Mondmasse stärker von der Sonne angezogen als die Einheit der Erdmasse, der Mond gravitirt schneller gegen die Sonne hin als die Erde, der störende Einfluss der Sonne wirkt also jetzt dahin, den Abstand des Mondes und der Erde zu vergrössern.

Zur Zeit des Vollmondes ist die Erde der Sonne näher, die Erde gravitirt also zu dieser Zeit stärker gegen die Sonne hin als der Mond, also auch jetzt wirkt die störende Kraft der Sonne dahin, die Entfernung der beiden Körper zu vergrössern.

Diese störende Wirkung der Sonne ist aber offenbar grösser, wenn sich die Erde in der Sonnennähe, kleiner, wenn sie sich in der Sonnenferne befindet, die Mondsbahn muss sich deshalb etwas zusammenziehen, während die Erde sich vom Perihelium zum Aphelium bewegt, um sich dann wieder etwas auszudehnen, während die Erde den Bogen vom Aphelium bis zum Perihelium durchläuft.

Nach dem dritten Kepler'schen Gesetz muss aber diese Erweiterung und Zusammenziehung der Mondsbahn auch ein periodisches Ab- und Zunehmen der Umlaufzeit des Mondes zur Folge haben; die Umlaufzeit des Mondes muss also ungefähr zur Zeit des Wintersolstitiums etwas grösser sein, als zur Zeit des Sommersolstitiums.

Diese periodische Aenderung in der Umlaufzeit des Mondes, welche den Namen der jährlichen Gleichung führt, war bereits schon von Tycho de Brahe beobachtet worden. In der That ist die



siderische Umlaufszeit des Mondes zu Anfang des Jahres ungefähr $\frac{1}{4}$ Stunde grösser als in der Mitte des Jahres.

Wir wollen nun noch versuchen, so weit es auf elementarem Wege möglich ist, verständlich zu machen, wie durch den störenden Einfluss der Sonne der Rückgang der Knoten der Mondsbahn bewirkt wird.

Es stelle $ABCD$, Fig. 163, ein Stück der Ebene der Erde dar; S sei die Sonne, T die Erde, $aLbp$ die Mondsbahn, welche die Ekliptik in der Knotenlinie ab schneidet. Ohne die Einwirkung der Sonne würde der Mond stets in derselben Ebene sich fortbewegen, die Knotenlinie würde also unverändert bleiben. Die Einwirkung der Sonne äussert aber ein Bestreben, die Ebene seiner Bahn fortwährend zu ändern, namentlich wenn der Mond sich in denjenigen Punkten seiner Bahn befindet, welche der Sonne am nächsten und am entferntesten liegen.

In dem Punkte L seiner Bahn angekommen, welcher der Sonne am nächsten liegt, strebt die Einwirkung der Sonne offenbar dahin, den Mond aus der durch T und das Bogenstück, welches er zuletzt durchlief, gehenden Ebene herauszubringen.

Statt dass der Mond unter dem alleinigen Einfluss der Erde den Bogen $Ln b$ zurückgelegt haben würde, beschreibt er unter dem störenden Einfluss der Sonne den Bogen Lrd , kurz es verhält sich so, als ob unter dem Einflusse der Sonne die Ebene der Mondsbahn um die Linie LT gedreht würde, wodurch dann die Knotenlinie ab in die Lage cd gebracht wird; die Knotenlinie der Mondsbahn muss sich in der Ebene der Ekliptik in einer Richtung drehen, welche der Richtung entgegengesetzt ist, in welcher der Mond selbst sich bewegt.

Ganz in der gleichen Richtung strebt die Sonne die Ebene der Mondsbahn zu drehen, wenn sich derselbe in dem von der Sonne entfernten Theile seiner Bahn befindet.

So giebt denn das Gesetz der allgemeinen Schwere von allen verschiedenen Ungleichheiten Rechenschaft, welchen die Bewegung des Mondes unterworfen ist; ohne Zweifel gehört aber dieser Gegenstand zu den schwierigsten und verwickeltsten Aufgaben der mathematischen Analysis.

111 Ebbe und Fluth. Die Oberfläche des Meeres zeigt regelmäßige und periodische Oscillationen, welche unter dem Namen der Ebbe und Fluth bekannt sind. Ungefähr 6 Stunden lang steigt das Meer, das ist die Fluth; dann fällt es wieder in den nächsten 6 Stunden, und dieses Sinken wird die Ebbe genannt. An jedem Tage findet zweimal Ebbe und zweimal Fluth Statt.

Der Zeitraum, innerhalb dessen diese doppelte Oscillation verläuft, ist jedoch nicht genau 24 Stunden, sondern im Mittel 24 Stunden 50 Minuten 28 Secunden, gerade die Zeit, welche zwischen zwei einander folgenden Culminationen des Mondes verstreicht. Zwischen einem Maximum der Fluth bis zum anderen liegt demnach immer

12^h 25' 14". Wenn also an einem Tage die Fluth Mittags um ihre grösste Höhe erreicht, so wird dasselbe am nächsten Tage 50', am zweiten um 1^h 41', am dritten um 2^h 31' u. s. w. stattfinden und zwischen zwei Nachmittags- oder Abendfluthen wird dann eine Morgenfluth in der Mitte liegen.

Höhe der Fluth, d. h. der Unterschied zwischen dem Niveau des zur Zeit seines höchsten und seines darauf folgenden tiefsten ist selbst für einen und denselben Ort nicht unveränderlich, sondern theils periodische, theils zufällige Schwankungen. Die letzteren werden vorzugsweise durch Winde und Stürme bedingt, welche je nach Umständen das Steigen der Fluth bald begünstigen, bald hemmen. Periodischen Schwankungen, welchen die Höhe der Fluth unterworfen ist, aber von den Phasen des Mondes abhängig. Die Höhe der Fluth ist am grössten zur Zeit des Neumondes und des Vollmondes (Fluth), sie ist am kleinsten zur Zeit der Quadraturen.

Alledem ersieht man, dass Ebbe und Fluth eine vorzugsweise von der Sonne und dem Monde abhängige Erscheinung ist, und in der That tritt auch in jedem Orte der Fluth stets um eine bestimmte Zeit nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian ein; diese Zeit, welche den Namen Hafenzeit (Hafenetablissement) führt, ist von einem Orte zum anderen durch locale Ursachen verschieden.

Beträgt die Hafenzeit in

Cadix	1 ^h	15'	St. Malo	6 ^h	30'
Lissabon	4	0	Cherbourg	7	45
Bayonne	3	30	Calais	11	45
Brest	3	45	Vlissingen	1	0
Plymouth	6	5	Hamburg	5	0

Also ist die Fluthhöhe sehr von localen Verhältnissen abhängig; im nördlichen Meere ist die Ebbe und Fluth kaum merklich, dagegen an den Küsten von Frankreich und England sehr bedeutend.

B. zur Zeit der Syzygien die mittlere Fluthhöhe in

Bayonne	. . . . .	9 Fuss,
Brest	. . . . .	20 "
St. Malo	. . . . .	36 "
London	. . . . .	18 "

In der Mündung des Avon (westlich von der Insel Wight) erreicht die Fluth die Höhe von 42 Fuss. Die höchsten Fluthen auf der Erde hat wohl die Fundybai, an der südöstlichen Küste des britischen Nordamerika, aufzuweisen. Im Hintergrunde dieser Bai steigen die Fluthen bis zu einer Höhe von 60 bis 70 Fuss.

Auf kleinen mitten im Ocean liegenden Inseln ist die Fluth nicht so bedeutend, so beträgt die Fluthhöhe auf St. Helena nur 3, auf den Inseln der Westküste nur 2 Fuss.

Unter sonst gleichen Umständen nimmt die Fluthhöhe von dem

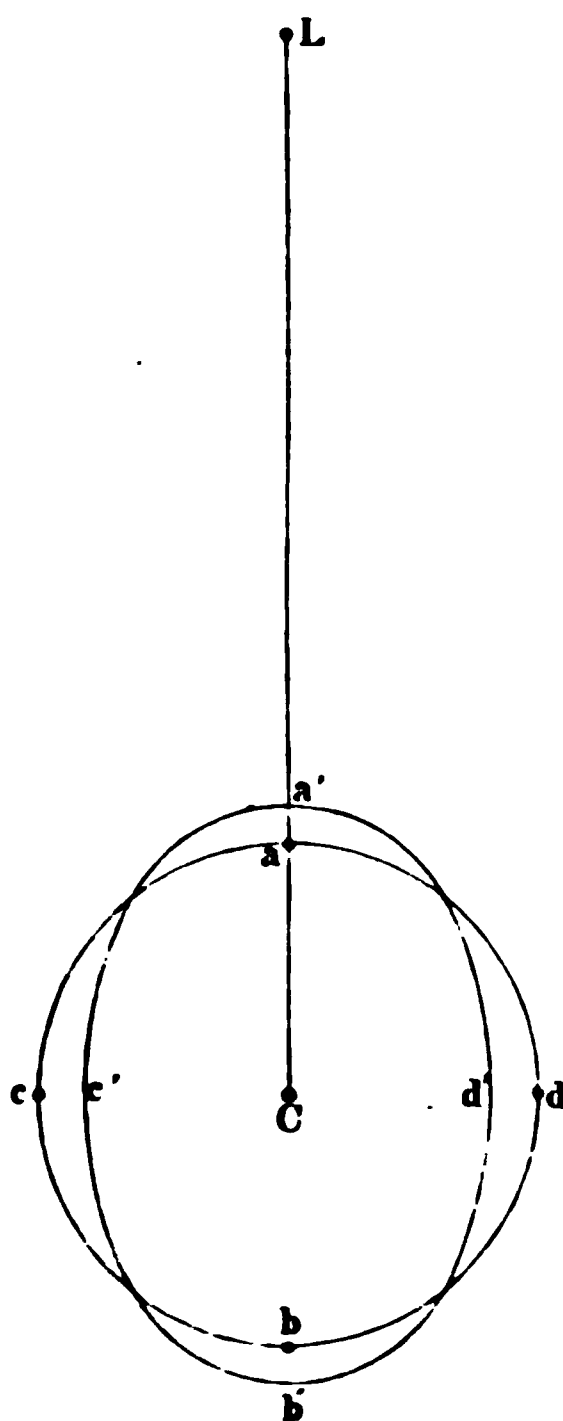
Aequator nach den Polen hin ab; an der nördlichen Küste von Norwegen ist sie sehr unbedeutend.

112 Mechanische Erklärung der Ebbe und Fluth.

Wirkungen im Planetensystem gegenseitig sind, so gravitirt nicht der Mond gegen die Erde, sondern auch die Erde gegen den Mond; aber nicht alle Punkte der Erdkugel in gleichem Abstande vom Monde stehen, so sind sie auch ungleichen Anziehungskräften unterworfen und daraus eben entspringt die Ebbe und Fluth.

Es sei C der Mittelpunkt der Erde (Fig. 164), L der Mond, a der Punkt der Erdoberfläche stärker vom Monde angezogen

Fig. 164.



als C , und wenn a nicht fest verbunden ist, so wird a mit größerer Beschleunigung gegen L gravitiren als C , es wird sich ein Streben a von C zu entfernen. Wenn also auf der dem Monde zugewandten Seite der Erde gerade ein Ocean befindet, so wird hier das Niveau des Meeres steigen.

Ganz das Gleiche findet von dem Monde entferntesten Theile der Erdoberfläche Statt. Hier wirkt die anziehende Kraft des Mondes geringer als in C , der Mitte der Erde gravitirt stärker gegen den Mond als b , und so wird sich a von den in der Nähe von b gelegenen Massen das Streben geltend machen sich von dem Erdmittelpunkte zu entfernen.

Wäre die Erde ganz mit Wasser bedeckt, so würde die sonst kugelförmige Oberfläche derselben die Gestalt der Ellipse $a'b'd'$ annehmen; denn indem das Wasser bei a und b steigt, muß es nothwendig bei c und d sinken, und es würde also Fluth sein an den

Orten, für welche der Mond im Meridian steht, sei es nun in oberer oder unterer Culmination, Ebbe aber an den Orten, für welche der Mond gerade auf oder untergeht.

Bezeichnen wir mit d den Abstand des Erdmittelpunktes vom Mondmittelpunkte, so ist die Kraft, mit welcher die Massen in C vom Monde angezogen wird, $\frac{fm}{d^2}$, wenn m die Masse des Mondes

Die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse in a vom Monde angezogen wird, ist aber $\frac{fm}{(d-r)^2}$, wenn r den Halbmesser der Erde bezeichnet; folglich ist die Differenz der Kräfte, welche in C und a wirken:

$$D = \frac{fm}{(d-r)^2} - \frac{fm}{d^2}.$$

wickelt man den ersten Theil dieses Werthes, indem man die Division von fm durch $(d-r)^2$ (also durch $d^2 - 2dr + r^2$) ausführt, so erhält man:

$$\frac{fm}{(d-r)^2} = \frac{fm}{d^2} + \frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \text{etc.}$$

wenn man davon $\frac{fm}{d^2}$ abzieht, so bleibt:

$$D = \frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \text{etc.}$$

Da der Werth von d sehr gross ist im Vergleich gegen r , so kann man Weiteres alle Glieder dieser Reihe vernachlässigen, welche d^4 und höhere Potenzen von d im Divisor haben; es bleibt also:

$$D = \frac{2fmr}{d^3}.$$

Der Mond bewirkt die Sonne in ganz ähnlicher Weise Ebbe und Fluth, nur sind die Sonnenfluthen wegen der grösseren Entfernung der Sonne weniger hoch als die Mondfluthen. Bezeichnen wir mit m' die Masse der Sonne, mit d' ihre Entfernung von der Erde, so haben wir also für die Kraft, welche die Sonnenfluth veranlasst:

$$D' = \frac{2fm'r}{d'^3}.$$

Nun ist $d' = 400 d$ und $m' = 355000.88.m$ und danach ergibt sich dann:

$$D' = \frac{2fr.m.355000.88}{d^3 400^3} = 0,488 D;$$

Die Höhe der Sonnenfluthen ist also nahe halb so gross, als die Höhe der Mondfluthen. Da sich nun zur Zeit des Neu- und Vollmondes die Sonnen- und Mondfluthen summiren, so ist die Kraft, welche die Gesamtfluth veranlasst:

$$1,5 D.$$

Zur Zeit der Quadraturen aber fällt die Mondfluth mit der Sonnenebbe zusammen, die Gesamtfluth erreicht alsdann die Höhe

$$D - 0,5 D = 0,5 D,$$

zur Zeit der Syzygien erreicht also die Fluth eine beinahe 3mal grössere Höhe, als zur Zeit des ersten und letzten Mondviertels.

Wäre die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt, so würde der Verlauf der Ebbe und Fluth ein sehr einfacher sein. Alle Punkte, welche auf demselben Meridian liegen, müssten zu gleicher Zeit Hochwasser haben; die Fluthwellen würden, von Nord nach Süd sich erstreckend, in der Richtung von Osten nach Westen fortschreiten, und zwar würde eine solche Fluthwelle den Weg um die ganze Erde in 24 Stunden zurücklegen, am Aequator also mit einer Geschwindigkeit von 225 Meilen in der Stunde fortschreiten müssen. — Ihre grösste Höhe müsste eine Fluthwelle an derjenigen Stelle eines Meridians erreichen, an welcher der Mond durch das Zenith geht.

Durch die ungleiche Vertheilung von Wasser und Land wird auch diese ideale Form der Fluthwellen, welche Whewell Isorachien nennt, durchaus verändert. Whewell hat, soweit es nach dem vorhandenen Beobachtungsmaterial möglich war, den Verlauf der Isorachien zu ermitteln gesucht, und hat sie dann in Karten eingetragen. In diesen Karten ist z. B. eine Curve durch alle Orte des Oceans gezogen, welche an einem bestimmten Tage um 1 Uhr Hochwasser haben, eine zweite, dritte, vierte u. s. w. zeigt die Stellen an, bis zu welchen das Hochwasser um 2, 3, 4 Uhr u. s. w. vorgedrungen ist.

Tab. XIV. stellt Whewell's Isorachien von 2 zu 2 Stunden dar, der unsichere Theil der Curven ist punktirt.

Man sieht hier deutlich, wie die Fluthwellen, aus dem indischen Ocean nach Westen vordringend, durch den afrikanischen Continent aufgehalten werden. Die südlich vom Cap der guten Hoffnung vorbeischiebenden Fluthwellen treten nun in südöstlicher Richtung in den Atlantischen Ocean ein, in welcher Richtung sie auch die Ostküsten von Nordamerika erreichen, während sie in südwestlicher Richtung an die Westküsten von Europa anschlagen.

Sowie die Fluthwelle in abgelenkter Richtung in den Atlantischen Ocean eintritt, so findet eine Ablenkung der Fluthwellen auch bei Seearmen und Buchten Statt; die Form der Gestade hat dann nicht allein auf die Richtung, sondern auch auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Fluthwellen fortschreiten, einen wesentlichen Einfluss; im Allgemeinen wirkt die Nähe der Küsten verzögernd auf die Geschwindigkeit des Fortschreitens.

Werden in ihrem Fortschreiten die Fluthwellen in Buchten eingeklemmt, dann erreichen sie, indem sie gleichsam concentrirt werden, eine ungeheure Höhe, wie wir dies an dem bereits angeführten Beispiel der Fundybai sehen.

Je nach der Configuration der Küsten wird es öfters vorkommen, dass an gewissen Stellen die Fluthwellen von verschiedenen Seiten zusammenstreffen, wie dies z. B. in dem Meere zwischen England und Irland der Fall ist, wo die Fluthen von Norden und Süden her eindringen. Hier

Es können natürlich Interferenzerscheinungen eintreten, welche das Phänomen noch verwickelter machen und die auffallendsten Abweichungen vom normalen Gang bedingen.

Erklärung der Präcession. Die Erscheinung der Präcession 113
haben wir bereits in §. 36 kennen gelernt; die mechanische Er-
Fig. 165.



Der Gang derselben ergibt sich aus den Erscheinungen, welche in §. 113
des ersten Bandes meines Lehrbuchs (7. Auflage. S. 269) besprochen
sind. Zur Erläuterung der Präcessionsercheinung wollen wir aber zu-
erst noch ein Gyroskop von etwas veränderter Construction betrachten,
solches in Fig. 165 dargestellt ist. Der Ring R, innerhalb dessen
eine Metallscheibe a rotirt, ist an einem Stabe S befestigt, welcher
auf einem horizontalen Stifte in der Gabel g befestigt ist. Die
Gabel g sitzt am Ende eines Stahlstäbchens J , dessen untere Hälfte in
einer vertical stehenden Hülse steckt, so dass die ganze obere Vorrichtung
um die verticale Axe J und um den horizontalen Stift in g drehbar ist.
An dem Stäbchen S ist eine Hülse verschiebbar, an welcher das Ge-
wicht G angehängt werden kann. Denken wir uns dasselbe vor der
Hand noch weg und die Metallscheibe a in Rotation versetzt, so erfolgt
die Drehung des Apparates um die verticale Axe J ganz so, wie wir sie
an dem Gyroskop Fig. 336 des Lehrbuchs der Physik kennen gelernt
haben. Wird ein Gewicht G angehängt, welches dem Ubergewicht der
Scheibe a nur theilweise das Gleichgewicht hält, so findet die Rotation
um die Axe J in unveränderter Richtung, aber mit verringerter Ge-

schwindigkeit Statt. Hat das Gewicht G eine solche Grösse, dass es das Uebergewicht der rotirenden Scheibe gerade das Gleichgewicht hält, so ist also keine Kraft mehr vorhanden, welche den Winkel, welchen das Stäbchen S mit der Verticalen macht, zu verändern strebt, so hört die Drehung des Apparates um die verticale Axe J ganz auf, wenn auch die Scheibe a in Rotation ist. Ist endlich das Uebergewicht auf der Seite des angehängten Gewichtes G , so erfolgt die Drehung des Apparates um die Axe J in einer Richtung, welche der zuerst besprochenen entgegengesetzt ist.

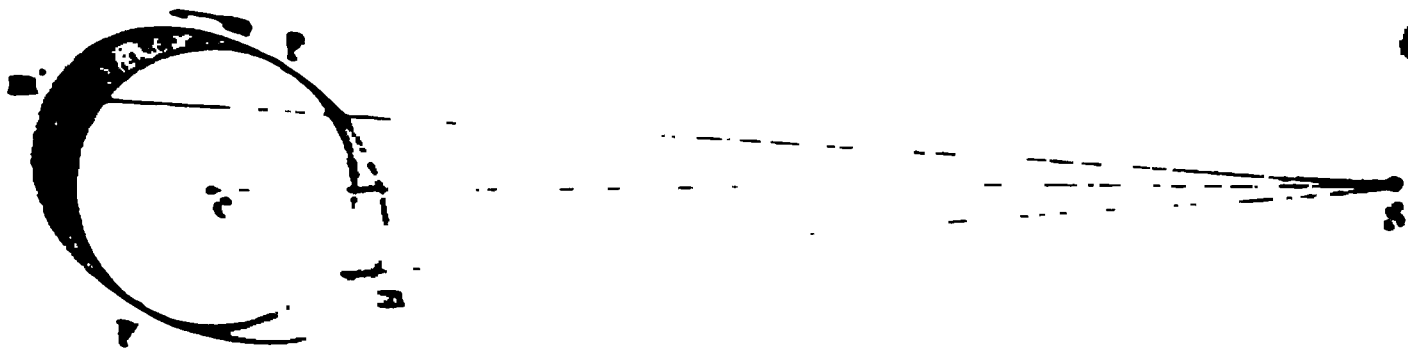
Wenn das Gewicht G so gestellt ist, dass keine Drehung um die verticale Axe J stattfindet, so wird, wenn man den ganzen Apparat im Zimmer herumträgt (wobei jedoch die Axe J stets vertical gehalten werden muss), die Richtung des Stäbchens S und der Rotationsaxe der Scheibe a doch ganz ungeändert bleiben, oder mit anderen Worten: das Stäbchen S sowohl wie auch die Umdrehungsaxe der Scheibe a werden parallel mit sich selbst verschoben.

Ähnliche Verhältnisse kommen nun auch bei der Erde vor: sie rotirt um eine Axe, welche einen bestimmten Winkel mit der Ebene der Ekliptik macht, während Kräfte auf sie wirken, welche dahin streben, die Umdrehungsaxe der Erde rechtwinklig zur Ekliptik zu stellen.

Die Kraft, welche die Erdaxe rechtwinklig auf die Ebene der Ekliptik zu stellen strebt, rührt von der Anziehung her, welche die Sonne auf die Erde ausübt. Wenn die Erde eine vollkommene Kugel und ihre Masse gleichförmig um ihren Mittelpunkt vertheilt wäre, so würde die Resultirende aller Wirkungen, welche die Sonne auf die einzelnen Theile der Erde ausübt, durch ihren Mittelpunkt gehen. Diese Resultirende könnte also keinerlei Einfluss auf die Rotationsaxe der Erde ausüben, dieselbe würde stets sich selbst parallel im Raume fortschreiten.

Nun aber ist die Erde abgeplattet, und deshalb kann man sie nicht als eine Kugel betrachten, deren Radius dem halben Polardurchmesser gleich

Fig. 166.



und welche noch mit einem Wulst bedeckt ist, welcher, am Äquator dicksten, nach den Polen zu abnimmt, wie dies Fig. 166 in übertriebener Weise angedeutet ist, welche die Stellung der Erde gegen die Sonne zur Zeit des Sommersolstiums darstellt.

Betrachten wir nun die Wirkung der Sonne S auf den Äquatorwulst für sich, so ist klar, dass die Kraft, mit welcher die Einheit

si m von der Sonne angezogen wird, grösser ist als die Anziehung, die Sonne auf eine gleich grosse Masse bei m' ausübt; die Wirkung der Sonne auf den fraglichen Wulst strebt also dahin, die Erde in der Richtung des Pfeiles um eine Axe zu drehen, welche in der Ebene der Wulst liegt und senkrecht auf SC steht. Wir haben also hier in der Erde ein ganz ähnliches Verhältniss, wie wir es beim Kreisel und der schon Rotationsmaschine Fig. 165 kennen lernten.

Zur Zeit des Wintersolstitiums, wenn die Erde auf der entgegen-
gesetzten Seite der Sonne steht, ist der Südpol p' der Sonne zugekehrt;
alsdann m' stärker von der Sonne angezogen als m , so dass also
dieser Zeit die Sonne ein Streben äussert, die Erde in der Rich-
tung des Pfeiles zu drehen, also die Erdaxe aufzurichten. Zur Zeit der
Äquinoccien, wo die Erdaxe rechtwinklig auf SC steht, ist die Kraft,
die die Erdaxe zu drehen strebt, gleich Null, wir sehen also, dass die
Kraft, welche die Schiefe der Ekliptik zu verkleinern strebt, zur Zeit der
Äquinoccien ein Maximum wird und da von da bis zu den Äquinoccien ab-

zur Erläuterung des Rückganges der Äquinoccialpunkte hat Boh-
rer einen Apparat construirt, welcher nach ihm den Namen des
„Bohrer'schen Maschinchens“ führt. Eine Kugel oder ein
Körper von Elfenbein oder noch besser von Metall ist um eine Axe ab
Fig. 167.



drehbar, die in Spitzen läuft, welche in einem
messingenen Ringe befestigt sind, Fig. 167. Dieser
innerste Ring ist wieder um eine horizontale Axe
 cd (der Endpunkt d ist in unserer Figur ver-
deckt) innerhalb eines zweiten Ringes drehbar,
welcher selbst wieder um eine verticale Axe fg
innerhalb des äussersten auf einem Postamentchen
befestigten Ringes gedreht werden kann. Auf
diese Weise ist die Kugel sowohl wie ihre Um-
drehungsaxe vollkommen frei beweglich.

Ist das Gleichgewicht der Kugel und des
innersten Ringes so hergestellt, dass ihr Schwer-
punkt auf die Axe cd fällt, dass also keine Kraft
vorhanden ist, welche eine Drehung um die Axe
 cd zu bewirken strebt, so wird die Axe ab ihre

im Raume unverändert beibehalten, wenn man die Kugel in
Rotation um diese Axe versetzt hat, wie man auch den ganzen
Apparat, am Fussgestell haltend, herumtragen und drehen mag. Sobald
ein kleines Uebergewicht bei b angebracht wird, ist jetzt eine Kraft
entstanden, welche den innersten Ring sammt der Kugel um die Axe cd
drehen strebt, und zwar so, dass die Axe ab aufgerichtet und a dem
Punkte f , b dem Punkte g genähert werden würde, wenn die Kugel nicht

Ist aber die Rotation der Kugel hinlänglich rasch, so bleibt
das Uebergewicht bei b die Neigung der Axe ab gegen fg un-

verändert, während dagegen eine Drehung der Kugel sammt ihrer tionsaxe um die Axe fg stattfindet.

Fig. 168.



Es treten also hier ganz dieselben Verhältnisse ein, wie bei d tation der Erdaxe, nur mit dem Unterschiede, dass die Kraft, welche Axe ab aufzurichten strebt, beim Bohnenberger'schen Apparat gleich stark wirkt.

Fig. 168 stellt eine veränderte Form des Bohnenberger'schen Apparates dar.

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

Fortschreitende Bewegung einzelner Sterne am Fix- 114
himmel. Wir haben bisher den Fixsternhimmel als den unver-
änderlichen Hintergrund betrachtet, auf welchem wir die Bahnen der
Sonne, des Mondes, der Planeten und Kometen proficirt erblicken. Zwar
wie wir bereits gesehen, dass die Länge sämmtlicher Gestirne in Folge
des Rückganges der Aequinoctialpunkte fortwährend zunimmt, dass auch
die Breite derselben in Folge der Nutation veränderlich ist; dass also
sogar die Erdaxe noch die Ebene der Erdbahn eine unveränderliche
Stellung im Weltraume haben. Bei alledem könnten aber doch wenigstens
einige Fixsterne unter sich eine absolut unveränderliche Stellung gegen
einander haben; allein auch das ist nicht der Fall, obgleich die hierher
gehörigen Verschiebungen so gering sind, dass sie erst nach Verlauf von
Jahrhunderten eine namhafte Grösse erreichen, und in kürzeren Zeit-
räumen nur durch Beobachtungen von der äussersten Genauigkeit nach-
gewiesen werden können.

Halley suchte zuerst eine solche Ortsveränderung am Sirius, Arctu-
rus und Aldebaran darzuthun, und in der That steht gegenwärtig Arctu-
rus um $2\frac{1}{2}$ Vollmondbreiten von der Stelle entfernt, welche er zu Hip-
parch's Zeiten einnahm.

Seitdem man überhaupt die Sternörter genauer zu bestimmen im
Lande ist, hat man eine solche langsam fortschreitende Ortsveränderung
auch noch für andere Sterne nachgewiesen; zunächst geschah dieses von
Herschel, welcher seine eigenen Beobachtungen mit denen Flam-
steed's verglich, und namentlich durch Bessel's und Argelander's
Vergleichung von Bradley's Sternpositionen für 1755 mit neueren
Stellkatalogen.

Diejenigen Sterne, an welchen man bis jetzt die grösste eigene Be-
wegung beobachtet hat, sind:

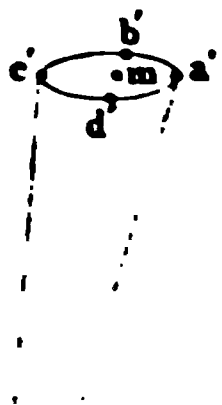
2151 Puppis des Schiffes, sechster Grösse, mit einer fortschreitenden Bewegung von 7,87 Secunden jährlich; ϵ Indi, erleidet eine jährliche schiebung von 7,74'', und ein Stern siebenter Grösse auf der Gränze der Jagdhunde und des grossen Bären, Nr. 1830 des Katalogs der Polarsterne von Groombridge eine solche von 7 Secunden. Auf folgen:

61 Cygni,	Doppelstern	5. 6 ^m	5,12'' jährlich,
δ Eridani,	"	4. 5 ^m	4,08 "
μ Cassiopeiae,		6 ^m	3,74 "
α Centauri,		1 ^m	3,58 "
α Bootis,		1 ^m	2,25 "

Nach 3000 Jahren werden ungefähr 20 Sterne sich um mehr von ihrer gegenwärtigen Stelle entfernt haben.

115 Jährliche Parallaxe der Fixsterne. Wenn die Lehre Copernicus richtig ist, dass die Erde gleich den anderen Planeten um die Sonne umkreise und dass die scheinbare Bewegung der Sonne am Himmelsgewölbe in Folge der wahren Bewegung der Erde

Fig. 169.



müssen auch die Fixsterne eine von der Veränderung der Erde herrührende scheinbare Bewegung zeigen und dadurch ihre gegenseitigen Abstände ändern. Diese scheinbaren Bewegungen der Fixsterne aber, welche ihrer Entstehung nach mit einer jährlichen Periode gebunden sein müssen, werden um so kleiner sein, je weiter die Fixsterne von uns entfernt sind.

Untersuchen wir nun zunächst, von welcher Art die scheinbare Bewegung der Fixsterne sein muss, welche durch die jährliche Bewegung der Erde erzeugt wird.

In Fig. 169 sei s ein Fixstern, ab die Erdbahn. Wenn sich die Erde gerade in der Position a befindet, so sehen wir den Stern in a' am Himmelsgewölbe projectirt; wenn die Erde nach der Position b gelangt ist, so sind b', c', d' die Orte des Himmels, auf welche uns der Stern s projectirt scheint.

Im Laufe eines Jahres beschreibt die Erde um die Sonne am Himmelsgewölbe eine Ellipse $a'b'c'd'$, welche der Erdbahn gleich ist.



Der Fixstern erreicht den nördlichsten Punkt seiner scheinbaren Bahn zur Zeit des Sommersolstitiums, den südlichsten zur Zeit des Winterstitiums. Zur Zeit des Frühlingsäquinocitiums zeigt der Stern seine grösste östliche, zur Zeit des Herbstäquinocitiums seine grösste westliche Abweichung von dem mittleren Orte m , an welchem wir den Stern sehen würden, wenn wir uns auf der Sonne befänden.

Von einem Fixstern aus gesehen, erscheint die Erdbahn stets als eine Ellipse, welche um so mehr von der Kreisgestalt abweicht, je kleiner der Winkel ist, welchen eine von dem Fixstern zur Sonne gezogene Linie mit der Ebene der Erdbahn macht. Ist dieser Winkel ein rechter, steht also der Fixstern im Pol der Ekliptik, so wird die scheinbare Bahn, welche er im Laufe eines Jahres beschreibt, ein Kreis sein. Für jeden anderen Stern ist die scheinbare jährliche Bahn eine Ellipse, deren grosse Axe parallel mit der Ekliptik ist, und diese grosse Axe bleibt bei gleichlicher Entfernung des Fixsterns unverändert, wie weit er sich auch von der Ebene der Ekliptik nähern mag, während die kleine Axe der Ellipse von dem Winkel abhängt, welchen die von dem Stern zur Sonne gezogene Linie mit der Ebene der Ekliptik macht. Diese kleine Axe wird Null für alle Fixsterne, welche in der Ebene der Ekliptik selbst liegen.

Die grosse Axe der eben besprochenen Ellipse nennt man die jährliche Parallaxe des Fixsterns. Es ist klar, dass die jährliche Parallaxe von der Entfernung der Gestirne abhängt, dass sie grösser sein muss für die näheren, kleiner für die entfernteren Fixsterne. Betrüge die jährliche Parallaxe eines Fixsterns

1", so wäre seine Entfernung = 57 Halbmessern der Erdbahn,

" " " " " = 3438 " " "

" " " " " = 206265 " " "

Als Copernicus mit seinem neuen Weltsystem auftrat, hatte man keine Spur einer jährlichen Parallaxe an Fixsternen wahrgenommen; die gegenseitige Stellung galt für absolut unveränderlich, und die Anhänger des alten Systems verfehlten nicht, diesen Umstand gegen Copernicus geltend zu machen, welcher diesen Einwürfen weiter nichts entgegnen konnte, als dass die Entfernung der Fixsterne so gross sei, dass die jährliche Parallaxe einen für den damals erreichbaren Grad Genauigkeit astronomischer Messungen verschwindend kleinen Werth hätte.

Von nun an war das eifrige Bestreben der Astronomen darauf gerichtet, die Genauigkeit der Beobachtung möglichst zu steigern, um die jährliche Parallaxe einzelner Fixsterne zu ermitteln und dadurch nicht nur die Richtigkeit des Copernicanischen Systems zu beweisen, sondern auch die Entfernung dieser Fixsterne zu bestimmen.

Grösse der jährlichen Parallaxe und Entfernung der Fixsterne. Tycho de Brahe vervollkommnete die astronomischen Beobachtungsmethoden so weit, dass die von ihm gemachten Ortsbestim-

mungen der Fixsterne bis auf 1' genau sind, und doch war aus Tycho'schen Beobachtungen noch keine Parallaxe der Fixsterne nachzuweisen.

Der nächste Schritt in der Entwicklung astronomischer Messungen wurde nun durch die Combination von Kreistheilungen mit einem Fadenkreuz gemacht, welches mit einem Fadenkreuz versehen ist. Dadurch erreichten die Beobachtungen von Flamsteed und Römer eine Genauigkeit, bei welcher die Fehlergränze auf $\frac{1}{6}$ derjenigen reducirt wurde, welche bei den Tycho'schen Beobachtungen noch vorkommen konnten.

In der That beobachtete nun Flamsteed Ortsveränderungen der Fixsterne, welche aber dem Gesetze der parallactischen Bewegung entsprachen, also von einer anderen Ursache als der jährlichen Parallaxe herrühren mussten.

Zunächst nahm dann Hooke (1669) diesen Gegenstand wieder auf. Um die geringsten Ortsveränderungen eines Fixsternes beobachten zu können, stellte er ein mit einer Kreistheilung versehenes Rohr so auf, dass es nahezu nach dem Zenith gerichtet war und nur eine unbedeutende Drehung in der Meridianebene zuließ. Mit einer solchen Vorrichtung, deren Aufstellung unverändert blieb und welche zu keinem anderen Zwecke benutzt wurde, konnte man natürlich die Zenithdistanzen von Fixsternen, welche bei ihrer Culmination nahe durch das Zenith gehen, sehr genau beobachten und die geringsten Veränderungen in der Zenithdistanz eines und desselben Sternes wahrnehmen. So zweckmäßig aber auch Hooke's Beobachtungsmethode war, so gelangte er doch zu keinem Resultate.

Im Jahre 1725 nahm Molynæus in Gemeinschaft mit Bradley Hooke'sche Beobachtungsmethode mit ganz vortrefflichen Instrumenten wieder auf, mit welchen die Zenithdistanz eines Sternes bis auf 1" genau bestimmt werden konnte. Zunächst wurde der Stern γ im Kopf des Drachen zum Gegenstande einer genauen Untersuchung gewählt.

Die Beobachtung wurde zur Zeit des Wintersolstitiums begonnen, wo der Stern der Theorie zufolge den südlichsten Punkt seiner jährlichen Bahn erreicht haben musste; statt aber nun stillzustehen und dann langsam nach Norden fortzuschreiten, ergab sich, dass der Stern noch weiter nach Süden fortschritt, und erst ein Vierteljahr später die südliche Gränze seiner Bahn erreichte. Jetzt stand γ draconis 20" südlicher im Anfange der Beobachtungen; nach einem halben Jahre war die Zenithdistanz wieder dieselbe wie im December, und im September befand sich der fragliche Stern 39" nördlicher, als man ihn im März gefunden hatte.

Somit war eine bedeutende, an eine jährliche Periode gebundene Ortsveränderung des Sternes unwiderleglich nachgewiesen; allein es war nicht die gesuchte Parallaxe, sondern eine Folge der Aberration des Lichtes, welche im nächsten Buche besprochen werden soll. Durch die Aberration des Lichtes war nun, wie wir alsbald sehen werden, die Bewegung der Erde um die Sonne ebenso unwiderleglich dargethan, wie durch die Nachweisung der Parallaxe hätte geschehen können; :

ohne die Grösse der jährlichen Parallaxe selbst gemessen zu haben, blieb doch unmöglich, die Entfernung der Fixsterne zu bestimmen.

Die Entdeckung der Aberration des Lichtes musste der Nachweisung einer jährlichen Parallaxe nothwendig vorausgehen; denn aus den Beobachtungen lässt sich die Parallaxe erst dann nachweisen, wenn man die Wirkungen der Aberration in Abzug bringt.

Von der Ansicht ausgehend, dass die hellsten Fixsterne uns wohl auch die nächsten sein möchten, suchte Piazzzi (1805) die Parallaxe der Vega, des Aldebaran, des Sirius und des Procyon zu ermitteln, und glaubte auch eine solche aufgefunden zu haben; doch fehlt seinen Resultaten die nöthige Sicherheit, wahrscheinlich in Folge des zu häufigen Gebrauchs, welchen Piazzzi von seinen Instrumenten gemacht hat.

Im Jahre 1838 gelang es endlich Bessel, die Parallaxe des Doppelsterns 61 cygni, an welchem er bereits 1812 eine bedeutende eigene Bewegung nachgewiesen hatte, und von welchem sich eben deshalb vermuthen liess, dass er zu den uns näher liegenden Fixsternen gehöre, ohne Zweifel zu setzen. Bei einem wahrscheinlichen Fehler von $0,02''$ nach Bessel's Messungen, die jährliche Parallaxe von 61 cygni gleich $0,37$ Secunden.

Die Methode, durch welche Bessel zu diesem Resultat gelangte, ist von derjenigen abweichend, welche oben angedeutet wurde. Bei der Bestimmung der Zenithdistanz können zahlreiche Fehlerquellen die Genauigkeit des Resultates beeinträchtigen, z. B. nicht vollständig genaue Einstellung des Fernrohrs, Fehler im Ablesen des Nonius, Fehler in der Theilung selbst; ungleiche Erwärmung der einzelnen Theile des Instrumentes, wodurch Spannungen und Verschiebungen hervorgebracht werden. Man kommt noch, dass die Beobachtungsergebnisse in Beziehung auf Aberration, atmosphärische Refraction u. s. w. corrigirt werden müssen.

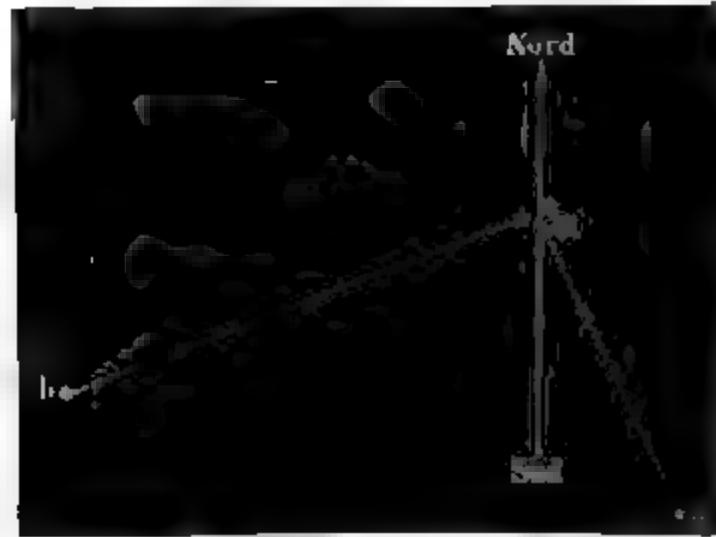
Die Methode, welche Bessel wählte, besteht darin, zu verschiedenen Zeiten des Jahres den Abstand des zu prüfenden Sternes von benachbarten Sternen mit Hülfe des auf Seite 102 beschriebenen Heliometers zu messen, welche mit ihm gleichzeitig im Gesichtsfelde des Fernrohrs erscheinen. Hier sind nun die Einflüsse der Aberration und Refraction eliminirt, weil sie für beide Sterne so gut wie gleich sind, und ebenso fallen auch die übrigen oben angedeuteten Fehlerquellen weg. Man erhält auf diese Weise eigentlich nur die Differenz der jährlichen Parallaxe der beiden Sterne, deren Positionen man mit einander vergleicht, und nur, wenn man die Parallaxe des einen als verschwindend klein annehmen kann, die jährliche Parallaxe des anderen.

Fig. 170 stellt die gegenseitige Stellung des Doppelsterns 61 cygni und zweier Sterne neunter bis zehnter Grösse dar, mit deren Lage Bessel die des Doppelsternes verglich. a ist im Mittel nur $7' 22''$, b nur $11' 46''$ von dem Punkte entfernt, welcher in der Mitte der beiden Sterne 61 cygni liegt. Der Abstand dieser beiden Sterne ist in unserer Figur, der Deutlichkeit halber, doppelt so gross dargestellt, als es im

Verhältniss der Entfernung der beiden Sterne α und β eigentlich sollte.

Bessel hat seine Beobachtungen am 16. August 1837 ange

Fig. 170.



und bis zum 2. (1838 fortgesetzt. In dieser Zeit sind 85 Vergleiche des Sternes β mit dem Punkte, welcher der Mitte zwischen Sternchen liegt, mit dem Sterne α und 98 mit dem Sterne β gelungen. Das Resultat mehrerer, nämlich 16 in derselben gemachter Wiederholungen der Messung.

Aus diesen Messungen hat sich nun in der That herausgestellt, dass auf den Stern α bezogen, β im Laufe eines Jahres eine Bewegung beschreibt, deren halbe grosse Axe $0,37''$ ist, und dass, ganz wie die Parallaxe fordert, die Entfernung zwischen α und β zu Anfang des Jahres am kleinsten, in der Mitte am grössten ist. Betrachtet man die Parallaxe von α als 0, so ist demnach die jährliche Parallaxe von β gleich $0,37''$, wie bereits oben angeführt wurde.

Durch die Vergleichung unseres Doppelsternes mit β ergab sich eine Differenz der Parallaxe beider Sterne gleich $0,26''$, woraus demnach geht, dass höchst wahrscheinlich β selbst eine merkliche Parallaxe hat.

Nach Peters hat man bereits für 33 Sterne die jährliche Parallaxen bestimmt; sie ist am grössten für diejenigen fünf Sterne, welche sich in der folgenden kleinen Tabelle verzeichnet finden.

Fixsterne.	Parallaxe.	Entfernung.
α Centauri	$0,91''$	220 000 Erdr.
β Cygni	$0,37$	550 000 .
Sirius	$0,21$	890 000 .
α Lyrae	$0,21$	970 000 .
Arcturus	$0,13$	1 600 000 .

Der schöne Doppelstern α Centauri, nach dem Sirius der hellste Stern des Firmamentes, aber bei uns nicht sichtbar, ist demnach allen Fixsternen unserem Sonnensystem am nächsten. Seine Paral

und die von Henderson im Jahre 1832 und von Maclear im Jahre 1839 am Cap der guten Hoffnung angestellten Beobachtungen bestimmt worden.

Doppelsterne. Als man dahin gekommen war, das Auge für 117
Anblick des Himmels durch Fernrohre zu schärfen, bemerkte man
dass an mehreren Stellen, wo das freie Auge nur einen einfachen
Stern wahrgenommen hatte, zwei oder manchmal noch mehr Sterne neben
einander standen. Man nannte solche durch Fernrohre trennbare Punkte
Doppelsterne.

Bis zum Jahre 1783 hatte W. Herschel bereits 450 Doppelsterne
beobachtet, deren Distanz kleiner war als 32".

Anfangs war Herschel der Ansicht, dass das nahe Zusammenstehen
der Sterne nur zufällig sei; als aber die Anzahl der beobachteten
Doppelsterne immer mehr zunahm, wurde es höchst unwahrscheinlich,
dass diese Doppelsterne, von unserem Standpunkte aus gesehen, nur eben
so nahe bei einander zu stehen schienen, und er gelangte nun zu
der Überzeugung, dass die Mehrzahl der Doppelsterne in der That nicht
optisch einander nahe, sondern dass sie auch physisch in näherer
Entfernung zu einander stehen.

Die fortgesetzte genaue Beobachtung der Doppelsterne durch meh-
rere ausgezeichnete Astronomen, namentlich durch Struve in Dorpat,
haben diese Ansicht über allen Zweifel erhoben.

Struve hat bereits 2641 Doppelsterne verzeichnet, unter denen sich
dreifache, 9 vierfache und 2 fünffache befinden.

Gewöhnlich ist einer der beiden Sterne viel kleiner als der andere,
beim Polarsterne, wo der eine ein Stern zweiter, der andere
dritter Grösse ist. Bei anderen Doppelsternen dagegen sind beide ein-
ander an Grösse nahe gleich, wie z. B. bei γ arietis, wo beide Sterne
von gleicher Grösse sind. Castor besteht aus einem Stern dritter und einem
vierten Grösse. Der Doppelstern γ leonis wird durch einen Stern
zweiter und einen dritten Grösse gebildet; γ virginis besteht aus zwei
Sternen dritter Grösse u. s. w.

Die Doppelsterne sind ein gutes Prüfungsmittel für Fernrohre.

Den Stern Mizar, im Schwanz des grossen Bären, kann ein schar-
fes Auge bei sehr reiner Luft schon ohne alle Bewaffnung als einen dop-
pelten erkennen, d. h. dicht bei dem Hauptsterne erblickt man einen
anderen, welcher Alkor oder das Reiterchen genannt wird. Schon
mit ein Theaterfernrohr erblickt man Mizar und Alkor ziemlich weit
auseinander, während durch Fernrohre von 50- bis 70facher Vergrösserung
die Sterne schon so weit von einander getrennt erscheinen, dass man
nicht mehr versucht ist, sie als zusammengehörig anzusehen. Durch ein
starkes Fernrohr erkennt man aber nun den Hauptstern Mizar selbst als
einen wahren Doppelstern. Um den Doppelstern γ Andromedae oder α
die Jagdhunde aufzulösen, ist schon ein gutes zweifüssiges Fernrohr von
bis 70facher Vergrösserung nöthig. Ein vierfüssiges Fernrohr von

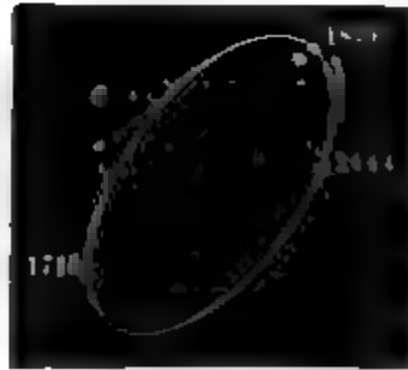
100- bis 120facher Vergrößerung ist Castor und den Polarstern. Um aber die beiden Sterne von γ virginis und β Orionis getrennt zu sehen, muss man schon sehr gute Instrumente in Anwendung bringen.

Wenn die Doppelsterne wirklich physische Doppelsterne sind, werden sie auch eine gegenseitige Wirkung auf einander ausüben und werden ein System bilden und um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen: die Folge einer solchen Bewegung wird aber die sein, dass allein die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, am Himmel ändert, sondern dass auch die scheinbare Entfernung derselben variiert. Bei vielen Doppelsternen hat man nun eine Umlaufveränderung mit voller Gewissheit nachgewiesen.

Castor wurde seit 1729 als Doppelstern beobachtet, und zu jener Zeit hat der Begleiter bereits 100° in seiner scheinbaren Bahn um den Hauptstern zurückgelegt.

Bradley erkannte bereits im Jahre 1718 γ virginis als Doppelstern; damals betrug der Abstand der beiden Sterne 7". Anfangs 1836 war ihre Entfernung so klein, dass sie wie ein einfacher Stern erschienen; seitdem ist aber ihr Abstand wieder gewachsen; dabei drehte sich die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, von Südwest nach Nordwest, Nord u. s. w. seit der ersten Beobachtung um mehr als 90°. Nimmt man den einen als fest an, so ist die Bahn, welche der andere um ihn beschreibt, eine Ellipse, wie es Fig. 171 darstellt. Es

Fig. 171.



dieser Figur auch die Stellen benannt sind, welche der bei der ersten Beobachtung südwestlich stehende Stern zu Anfang des Jahres 1836 und 1844 einnahm, man den anderen zum Ausgang der Ortsbestimmung macht. In 1838 war der Abstand der beiden bereits wieder 1". Da jetzt die Entfernung der beiden Sterne noch im Wachsthen begriffen ist, so wird dieser Doppelstern wieder leichter aufzulösen sein, als

am Anfang der 40er Jahre. Die Umlaufzeit dieses Doppelsternes beträgt 169 Jahre; im Jahre 1875 wird also die gegenseitige Stellung sein, wie zu Bradley's Zeit.

Folgende Tabelle enthält einige bereits bestimmte Umlaufzeiten von Doppelsternen:

ζ Herculis	30 Jahre
ξ ursae majoris	61 "
ρ Ophiuchi	74 "
α Centauri	77 "
γ virginis	169 "
Castor	153 "
δ coronae	608 "

Bahnen der Doppelsterne würden uns dann in ihrer wahren also unverkürzt erscheinen, wenn die von ihnen zur Erde gerichtete Linie rechtwinklig auf der Bahnebene stände; dies ist aber fast nie der Fall, und deshalb sehen wir die Doppelsternbahnen fast immer verkürzt. So zeigt Fig. 172 die scheinbare und die aus derselben abgeleitete wahre Bahn des Doppelsternes μ coronae, dessen Umlaufszeit 42,5 Jahre beträgt.



Die Zahl der Doppelsterne, deren Bahnelemente bis jetzt ermittelt worden sind, beträgt 16. An vielen anderen hat man zwar gegenseitige Verrückungen wahrgenommen, doch reichen die

Angaben nicht hin, um mit einiger Sicherheit Umlaufszeit und Bahn daraus abzuleiten. Bei anderen hat man endlich noch eine Stellungsänderung bemerkt, und diese sind wahrscheinlich nur nicht physische Doppelsterne.

Eine genauere Untersuchung der Doppelsternbahnen zeigt, dass sie den Kepler'schen Gesetzen entsprechen, dass also in den weitesten Himmelsräumen, so weit unsere Blicke nur mit dem besten Fernrohre vorzudringen vermögen, die allgemeine Massenanziehung ganz in derselben Weise die Bewegung der Himmelskörper beherrscht, wie dies in unserem Planetensystem der Fall ist. Das Gesetz der allgemeinen Gravitation erstreckt sich über die ganze Schöpfung.

Es ist kein Zweifel, dass alle Fixsterne selbst leuchtende Weltkörper, wie die Sonne, und um sie kreisen wohl Planeten, welche von ihnen Licht empfangen, wie wir von der Sonne. Auch die Doppelsterne sind Systeme, welche sich aber von unserem Planetensystem unterscheiden, in dem sie nur ein Centalkörper von weitaus überwiegender Masse enthalten, dadurch unterscheiden, dass sie zwei Sonnen enthalten, welche um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen.

Die dunklen Planeten jener Fixsternsysteme werden wohl für immer der menschlichen Beobachtung entgehen.

Fortachreiten unseres ganzen Planetensystemes im 118

Capitel. Die eigenen Bewegungen der Fixsterne, welche im ersten Capitel dieses Capitels besprochen wurden, finden nach den verschiedensten Richtungen Statt, aber doch zeigt sich, dass die Bewegung in einer bestimmten Richtung hin entschieden vorherrschend ist, so dass die meisten Fixsterne, an denen man eine solche fortachreitende Bewegung wahrgenommen hat, scheinbar einem bestimmten Punkte des Himmels sich nähern; am wahrscheinlichsten ist es nun, dass diese den verschiedenen Fixsternen gemeinsame Bewegung von einer in entgegengegesetzter Richtung stattfindenden Bewegung unserer Sonne herrührt. Herschel's Bestimmungen liegt der Punkt, gegen welchen sich

unsere Sonne sammt allen sie umkreisenden Planeten und Komete bewegt, nahe beim Sternbilde des Hercules ($260^{\circ} 44'$ Rectasc. $26^{\circ} 16'$ nördliche Declination), womit die Bestimmungen von Argander, Gauss und Struve nahezu übereinstimmen. Galloway vermittelte, den Punkt des Himmels, gegen welchen sich unser Sonnensystem bewegt, nur aus der eigenen Bewegung von Fixsternen der südlichen Hemisphäre abzuleiten, und gelangte ebenfalls zu einem Resultate, welches sehr nahe mit dem aus nördlichen Sternen berechneten übereinstimmt (260° Rectascension, $34^{\circ} 23'$ nördliche Declination).

Nun ist es aber nicht wahrscheinlich, dass die fortschreitende Bewegung unseres Planetensystemes im Weltraume eine geradlinige vielmehr ist wohl die innerhalb mässiger Gränzen bestimmte Richtung dieser Bewegung nur die Tangente seiner Bahn.

Nehmen wir nun an, dass unser Sonnensystem mit allen verhältnissmässig entfernten Fixsternen um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt so ist klar, dass der Mittelpunkt dieser Kreisbewegungen 90° von den Fixsternen entfernt liegen müsse, gegen welchen sich unser Sonnenhimmelskörper hinbewegt. Mädler sucht den fraglichen Schwerpunkt in der Pleiaden-Gruppe, und zwar nahe bei Alcyone, dem hellsten Sterne derselben Gruppe.

Die Ansicht, welche man wohl früher hegte, dass unsere Sonne mit allen ihren Planeten und Kometen selbst wieder um einen selbstständigen oder dunklen Centalkörper rotire, wie Jupiter und Saturn um ihren Trabanten um die Sonne, gehört nur in das Reich der mythischen Hypothesen.

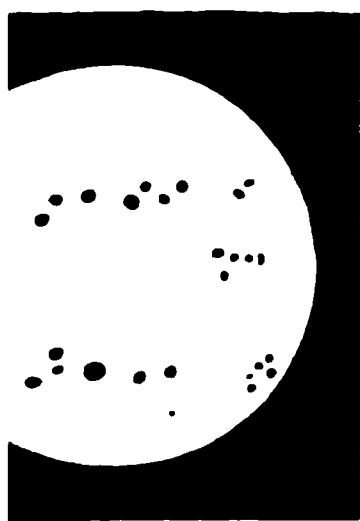
ZWEITES BUCH.

**KOSMISCHE UND ATMOSPHÄRISCHE
LICHTERSCHEINUNGEN.**

Erstes Capitel.

Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

Sonnenflecken. Wenn man die Sonne durch ein Fernrohr be- 119
obachtet, wobei man aber ihres starken Glanzes wegen ein sehr dunkel-
es Glas (Blendglas, Sonnenglas) vor das Ocular bringen muss,
so bemerkt man auf ihrer Oberfläche bald mehr,
bald weniger dunkle Flecken, ungefähr in der
Art, wie es Fig. 173 zeigt. Wenn man die Be-
obachtung nach einigen Tagen wiederholt, so
ergibt sich, dass sie auf der Sonnenscheibe
eine fortschreitende Bewegung von Ost nach
West haben. Nachdem sie in der angegebenen
Richtung die ganze Sonnenscheibe durchlaufen
haben, verschwinden sie am westlichen Rande,
um nach einigen Tagen auf der Ostseite wieder
zu erscheinen.



hon aus den Beobachtungen der Sonnenflecken, welche die ersten
ker derselben anstellten, ergab sich eine Rotationsdauer der Sonne
gefähr 25 Tagen. Spörer bestimmte nach seinen höchst sorg-
angestellten Beobachtungen die Rotationsdauer der Sonne zu
gen 5 Stunden und 38 Minuten und den Winkel, welchen der
nāquator mit der Ekliptik macht, zu $6^{\circ} 57'$.

heiner machte bereits darauf aufmerksam, dass die dem Sonnen-
näheren Flecke eine kürzere Rotationsdauer ergeben, als die ent-
en, aber erst Laugier zeigte mit voller Gewissheit, dass eine
ewegung der Sonnenflecke besteht. Carrington und Spörer
, dass die Flecken der höheren Breiten, also die vom Sonnen-

äquator entfernteren, ein Hinaufrücken nach dem nächsten Pole während sie sich gleichzeitig mit der ganzen Sonnenkugel um Axe drehen.

Die Sonnenflecken sind im Allgemeinen sehr veränderliche; bald sind sie zahlreicher und grösser, dann wieder seltener und manchmal ist die Sonne ganz fleckenfrei. — Bald sieht man neue entstehen und allmählig grösser werden, dann dieselben wieder ab- und allmählig verschwinden; ebenso zeigen sie stets mehr oder bedeutende Formveränderungen.

Die grösseren Sonnenflecken, deren Ausdehnung oft die Oberfläche unserer Erde übertrifft, sind selbst dem unbewaffneten Auge sichtbar.

Im Jahre 1833 war die Sonne an 139, im Jahre 1843 an 149 Tagen fleckenlos und es zeigten sich in diesen Jahren überwiegen wie auch im Jahre 1834 die Flecken nur wenig zahlreich; während den Jahren 1828 und 1829, ferner 1838 und 1839 die Sonne sehr viele Flecken zeigte und im Laufe dieser Jahre nie ohne Flecken war. Im Jahre 1828 erschien sogar ein mit blossen Auge sichtbarer Fleck. Nach den Beobachtungen von Schwabe in Dessau, welcher seit 1826 ganz speciell mit diesem Gegenstand beschäftigt hat, in der Ab- und Zunahme der Flecken eine Periodicität von 11 Jahren stattzufinden. Wolf aber hat nachgewiesen (Neue Untersuchungen über die Periode der Sonnenflecken, Bern 1852), dass in den zwei Jahrhunderten zwischen Fabricius, dem Entdecker der Sonnenflecken, und Schwabe die Sonnenflecken periodisch aufzutreten sind. Mit Hülfe älterer und neuerer Beobachtungen hat Wolf die Periode genauer auf $11\frac{1}{3}$ Jahr bestimmt.

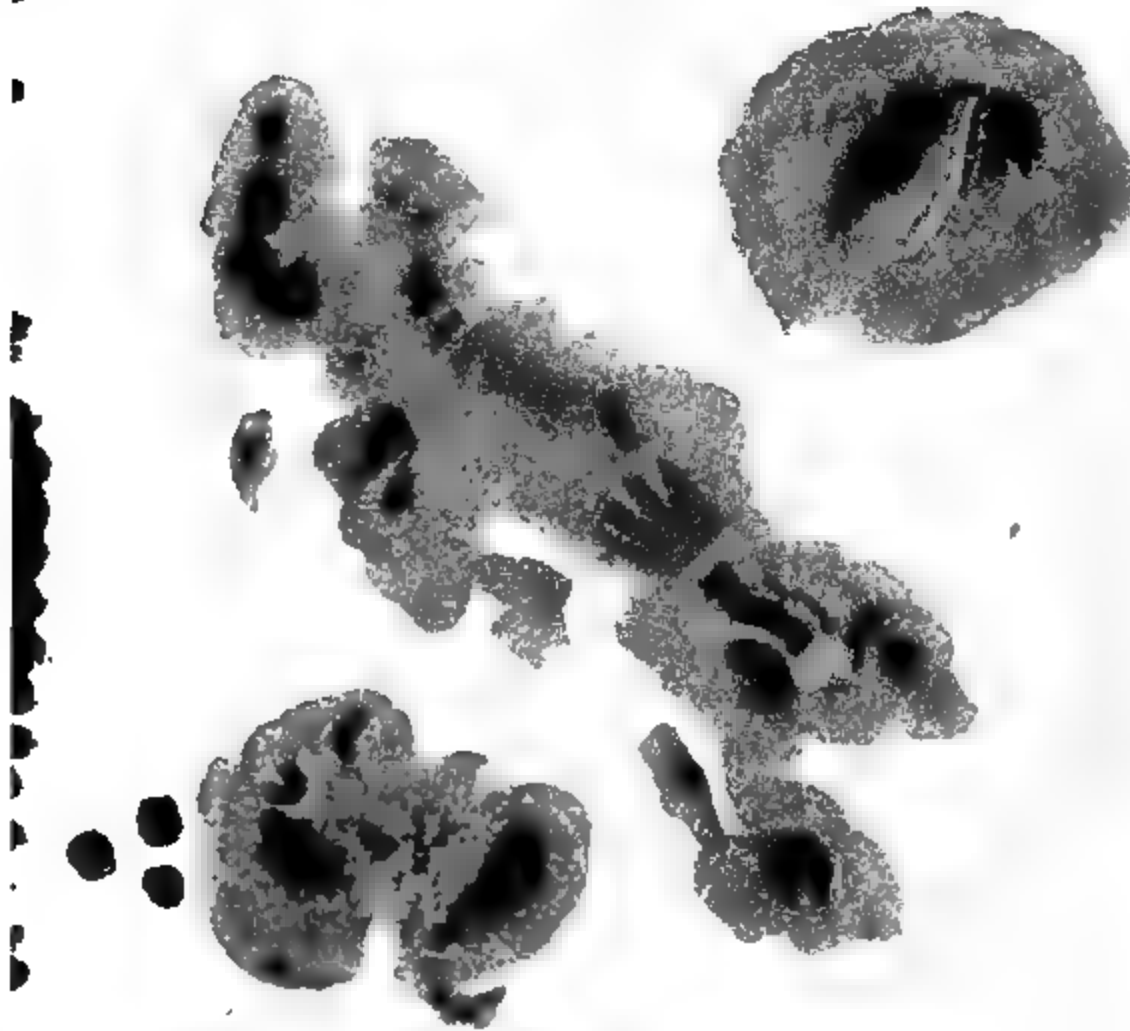
Das letzte Minimum der Sonnenflecken fiel auf das erste Drittel des Jahres 1860, das nächste Maximum wird im Jahre 1871 eintreten zu warten sein.

Man vermuthete, dass die grössere oder geringere Häufigkeit der Sonnenflecken einen Einfluss auf unsere Witterungsverhältnisse ausüben müsse, dass fleckenreichere Jahre kühler sein müssten; die Erscheinung scheint eine solche Annahme nicht zu bestätigen, dagegen ist ein auffallender Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den magnetischen Variationen statt, indem sich die magnetischen Variationen am stärksten zeigen, wenn zahlreiche Sonnenflecken vorhanden sind, während das Minimum der Sonnenflecken auch mit dem Minimum der magnetischen Variationen zusammenfällt. R. Wolf schliesst daraus hier ein Causalnexus stattzufinden.

Die Sonnenflecken wurden zum ersten Male von Johann Fabricius im Jahre 1611 beobachtet; Galiläi entdeckte sie im Jahre 1610. Er wandte zu ihrer Beobachtung zuerst die bereits von Kepler beschriebenen Blendgläser an, deren Nichtgebrauch wohl vorzuziehen ist, um eine Erblindung zu vermeiden.

Die physische Beschaffenheit der Sonne. Bei genauerer Betrachtung der Sonnenflecken erkennt man, dass der eigentlich ganz kleine Kern derselben gleichsam mit einem Halbschatten umgeben ist, daher den Namen der Penumbra führt.

Fig. 174.



Die Contouren des Kerns sowohl wie der Penumbra sind unregelmäßig gestaltet und meist liegen mehrere Kerne in einer gemeinschaftlichen Penumbra, wie Fig. 174 zeigt, welche eine getreue Darstellung eines beobachteter Sonnenflecken ist.

Durch ein farbiges Sonnenglas kann man natürlich die wahre Farbe der Sonnenflecken nicht sehen; um diese zu erkennen, erzeugte Busolt mit einem öfussigen Fernrohres ein Sonnenbild auf weissem Papier auf einer Scheibe von feinem Gyps, welche auf eine Spiegelplatte hingegossen worden. Die Sonnenscheibe selbst erschien nun farblos, nur durchweg hellviolett gesprenkelt. Die Flecken bestanden aus dunkelblauen Kernen, welche mit einem prächtig gelben Hofe umgeben waren. In der Nähe der Flecken zeigen sich häufig Stellen, welche heller als der übrige Theil der Sonnenscheibe und welche man Sonnenmehl nennt.

Wilson hat zuerst die Beobachtung gemacht, dass die Penumbra der Sonnenflecken beim Fortrücken gegen den westlichen Sonnenrand

auf der Ostseite des Fleckens rascher verschwindet, dass hier der Kern schärfer begränzt erscheint, als auf der Westseite. Auf diese Erscheinung gründet Herschel die folgende, auch von Arago vertretene Hypothese über die Constitution der Sonne.

Der eigentliche Kern der Sonne ist eine dunkle Kugel, welche ringsum von einer Gasatmosphäre umgeben ist. In dieser Atmosphäre schweben nun zwei wolkenartige Schichten, von denen die äussere stark leuchtende die Photosphäre genannt wird. Die innere Wolkenschicht dagegen ist entweder nur schwach leuchtend oder vielleicht auch nur durch die äussere erleuchtet.

Es erscheinen nun Sonnenflecken, so oft die Photosphäre und die untere Wolkenschicht durch irgend eine unbekannte Ursache durchbrochen werden und man durch die Oeffnungen auf den dunklen Kern der Sonne hinabsehen kann.

Denken wir uns, dass sich über der Oeffnung der unteren Wolkenschicht eine grössere Oeffnung der Photosphäre befindet, so wird man in gerader Richtung durch die beiden Oeffnungen hindurchschauend ein Stück des dunklen Kerns der Sonne sehen. Rings um diesen dunklen Fleck herum sieht man aber eine Partie der unteren, schwächer leuchtenden Wolkenschicht, welche die Penumbra bildet. Sieht man schräg durch diese Oeffnungen hindurch, wie es der Fall ist, wenn ein Fleck nahe am Sonnenrande erscheint, so wird auf der einen Seite der Rand der unteren Oeffnung durch den Rand der oberen gedeckt werden, so dass hier die Penumbra verschwindet, während sie auf der andern Seite sichtbar bleibt.

Diese Vorstellung von der Beschaffenheit der Sonne steht aber im Widerspruch mit anerkannten Gesetzen der Physik und Geologie.

Wenn irgend ein glühender Körper durch Ausstrahlen erkaltet, so kann die Erkaltung nur von Aussen nach Innen fortschreiten; die äussere Hülle wird zuerst erkalten und erstarren, während der eingeschlossene Kern sich noch in feurig flüssigem Zustand befindet, dies z. B. für unsere Erde auf das Unzweifelhafteste dargethan ist.

Es ist demnach nicht wohl möglich, dass der innere Kern der Sonne schon zu einer dunklen Masse erkaltet sein soll, während er von einer glühenden Atmosphäre umgeben ist. Ja nehmen wir sogar an, dass ein solcher Zustand wirklich stattfände, so könnte er kein dauernder sein, weil der dunkle kalte Kern, fortwährend Wärmestrahlen von der Photosphäre erhaltend, ohne sie nach irgend einer Seite hin frei ausstrahlen zu können, sich rasch erwärmen müsste, während die Photosphäre, auf beiden Seiten Wärme ausstrahlend, bald erkalten müsste. Kurz, ein solcher Zustand könnte nur ein vorübergehender sein, während doch die Sonne schon Jahrtausende hindurch als glühender Körper ihre Strahlen in den Himmelsraum aussendet. Eine solche Beständigkeit ist nur durch die Annahme einer weissglühenden Masse von den enormen Dimensionen des gesammten Sonnenkörpers erklärlich. Eine glühende Photosphäre

Erde bei ihrer geringen Masse bald ihre gesammte Wärme an den unheuren kalten Kern abgeben müssen.

Die ohnehin schon höchst unwahrscheinliche Herschel-Arago'sche Hypothese eines dunklen Sonnenkörpers mit glühender Photosphäre ist nur durch die Spectraluntersuchungen Kirchhoff's vollkommen unhaltbar geworden.

Ein weissglühender fester oder flüssiger Körper liefert ein vollkommen continuirliches Spectrum, während ein im Gaszustand glühender Stoff ein aus isolirten hellen Linien bestehendes Spectrum liefert. So besteht z. B. das Spectrum des glühenden Natriumdampfes aus einer einzigen gelben, das Spectrum des glühenden Strontiumdampfes aus mehreren rothen, einer orangefarbenen und einer blauen Linie u. s. w. In Dampfform glühende Eisen liefert ein aus über 100 hellen Linien fast aller Farben bestehendes Spectrum.

Nun hat Kirchhoff die wichtige Entdeckung gemacht, dass die prismatische Zerlegung des Lichtes, welches, von einem stark weissglühenden Körper ausgehend, durch einen im Gaszustand glühenden Stoff hindurchgegangen ist, ein Spectrum liefert, welches gerade an der Stelle, wo das durch schwarze Linien unterbrochen ist, an welchen das glühende Gas für sich selbst helle Linien liefert. So liefert z. B. das Drummond'sche Kalklicht ein continuirliches Spectrum; wenn man es aber durch ein mittelst Kochsalz intensiv gefärbte (für sich selbst farblose und schwach leuchtende) Gasflamme gehen lässt, so zeigt sich eine schwarze Linie gerade da, wo die Natriumflamme für sich allein, d. h. ohne den weissglühenden Hintergrund, eine helle gelbe Linie erzeugt hätte.

Kurz alle hellen Spectrallinien, welche durch gasförmig glühende Stoffe erzeugt werden, werden in schwarze Linien verwandelt, wenn sich vor dem gasförmig glühenden Stoff ein weissglühender Körper befindet, dessen continuirliches Spectrum eben durch jene schwarzen Linien unterbrochen erscheint. (Vgl. mein Lehrbuch der Physik 7. Aufl. Bd. I. S. 634 u. ff.)

Nun aber liefert uns die prismatische Zerlegung des Sonnenlichtes keineswegs als ein continuirliches Spectrum, sondern es erscheint es durch zahlreiche dunkle Linien durchschnitten, welche unter dem Namen der Fraunhofer'schen Linien bekannt sind. Sehr viele dieser Fraunhofer'schen Linien fallen nun aber genau mit den hellen Linien zusammen, aus denen das Spectrum verschieden gefärbter Flammen besteht.

So fällt z. B. die Fraunhofer'sche Linie *D* genau mit der hellen Linie zusammen, welche das Spectrum einer durch Kochsalz getauchten Flamme bildet. Sämmtliche helle Linien des Eisenspectrums fallen genau mit einer gleichen Anzahl dunkler Linien des Sonnenspectrums zusammen u. s. w.

Nach diesen Thatfachen liegt es nahe, die Fraunhofer'schen Linien als eine Umkehrung der Flammenspectren zu erklären, wie dies Kirch-

hoff in der That gethan hat. Die Fraunhofer'schen Linien zu klären, muss man annehmen, dass der Kern der Sonne, in festem flüssigem Zustande befindlich, weissglühend, dass aber dieser w glühende Kern von einer gleichfalls glühenden Gasatmosphäre um sei, in welcher verschiedene Stoffe in gasförmigem Zustand verbr sind. Wir müssen alle Stoffe als gasförmig in der Sonnenatmosph vorhanden annehmen, deren Flammenspectra aus hellen Linien best welche genau mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen, wie wie wir gesehen haben, für das Natrium und für das Eisen der Fal In gleicher Weise ergiebt sich, dass die Sonnenatmosphäre ausser trium und Eisen auch noch Magnesium, Calcium, Chrom u. a. w. ent während die Existenz von Lithium, Aluminium, Zink, Silber, Kupfer u in der Sonnenatmosphäre nicht nachgewiesen ist, weil die diesen St entsprechenden dunklen Linien im Sonnenspectrum nicht vorkom (Lehrbuch Bd. I. S. 636.)

Es bleibt nun noch übrig, das Wilson'sche Phänomen, welches Aufstellung der Hypothese vom dunklen Sonnenkern veranlasst hat, nach der Annahme eines glühenden Sonnenkörpers zu erklären. S Galiläi erklärte die Sonnenflecken für Wolken, welche in der gemigten Atmosphäre der Sonne schweben und als dunkle Flecken auf glänzenden Sonnenkörper erscheinen. Er sagt: „Wenn die Erde selbstleuchtender Körper wäre, so würde sie, von fern gesehen, diese Erscheinungen darbieten, wie die Sonne. Je nachdem die eine oder andere Gegend sich hinter einer Wolke befände, würde man bald an einen, bald an der anderen Stelle der scheinbaren Erdscheibe Fle wahrnehmen; dabei würde die grössere oder geringere Undurchsicht keit der Wolken eine grössere oder geringere Schwächung des Erdlic herbeiführen. Zu gewissen Zeiten würde es wenig Flecken geben anderen würde eine grosse Zahl sichtbar sein; einige würden sich sammenziehen, andere dagegen sich weiter ausdehnen u. a. w.“

Galiläi's Ansicht über das Wesen der Sonnenflecken bedarf einiger Modificationen, um das Wilson'sche Phänomen vollständig und ungezwungener zu erklären, als es durch die Herschel-Arago's Hypothese vom dunklen Sonnenkörper geschieht. Kirchhoff giebt die Erklärung in folgender Weise.

„In der Atmosphäre der Sonne müssen ähnliche Vorgänge stattfinden, wie in der unserigen; locale Temperaturerniedrigungen sind dort wie hier die Veranlassung zur Bildung von Wolken geben; werden die Sonnenwolken ihrer chemischen Beschaffenheit nach von unserigen verschieden sein. Wenn eine Wolke dort sich gebildet so werden alle über derselben liegenden Theile der Atmosphäre abgekühlt werden, weil ihnen ein Theil der Wärmestrahlen, welche glühende Körper der Sonne ihnen zusendet, durch die Wolken entzogen wird. Diese Abkühlung wird um so bedeutender sein, je dichter grösser die Wolke ist, und dabei erheblicher für diejenigen Punkte, wo

über der Wolke liegen als für die höheren. Eine Folge davon sein, dass die Wolke mit beschleunigter Geschwindigkeit von oben anwächst und kälter wird. Ihre Temperatur sinkt unter die Glüh-temperatur, sie wird undurchsichtig und bildet den Kern eines Sonnenfleckens. Aber auch noch in beträchtlicher Höhe über dieser Wolke findet Temperaturerniedrigung Statt; sind hier irgendwo durch die Tiefe der schon herrschenden Temperatur oder durch das Zusammentreffen zweier Luft-massen die Dämpfe ihrem Condensationspunkte nahe gebracht, so wird diese Temperaturerniedrigung die Bildung einer zweiten Wolke bewirken, die weniger dicht ist als jene, weil in der Höhe der geringeren Temperatur wegen die Dichte der vorhandenen Dämpfe kleiner ist, als in der Tiefe, und die, theilweise durchsichtig, den Halbschatten bildet, wenn sie eine hinreichende Ausdehnung gewonnen hat. — — —

Jene beiden Wolkenschichten spielen bei der Theorie der Sonnenflecken, die ich vertheidige, dieselbe Rolle, wie die beiden Oeffnungen der äusseren Atmosphäre und der Photosphäre bei derjenigen, welche ich annehme. Denkt man sich die beiden Wolken von denselben Dimensionen und an denselben Orten als die beiden Oeffnungen, so erklärt sich das Wilson'sche Phänomen nach beiden Theorien in genau gleicher Weise.

Uebrigens ist noch zu bemerken, dass das Wilson'sche Phänomen keineswegs bei allen Sonnenflecken auftritt.

Nach Zöllner sind die Sonnenflecken ungeheure Schlackenmassen, welche auf der feurigflüssigen Sonnenoberfläche schwimmen. In den über der Schlackenmasse befindlichen Theilen der Sonnenatmosphäre lassen sich aber wegen der geringeren Strahlung an dieser Stelle wolkenartige Condensationsproducte bilden, durch welche hindurch die Schlackeninsel als Kernfleck erscheint, während die Wolkenwände die Umbra bilden.

Die Sonnenatmosphäre. Wenn während einer totalen Sonnenfinsterniss die eigentliche Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt ist, so erscheint die dunkle Mondscheibe von einem Strahlenkranz (corona) umgeben, welcher sich etwa einer Glorie (dem sogenannten Heiligenscheine) vergleichen lässt. Tab. VI. kann eine Vorstellung von dieser merkwürdigen Erscheinung geben, welche darauf hindeutet, dass der feste oder flüssige glühende Sonnenkörper noch von einer gasförmigen Atmosphäre umgeben ist.

Die sehr sorgfältig beobachtete totale Sonnenfinsterniss von 1842 lehrte noch Einzelheiten dieser merkwürdigen Erscheinung kennen, welche wohl auch früher schon bemerkt, aber nicht genügend beachtet worden war: es zeigten sich nämlich an mehreren Stellen an dem dunklen Mondrande rosenfarbene Hervorragungen (Protuberanzen), welche eine Aehnlichkeit mit schneebedeckten Bergspitzen zeigten, die von der untergehenden Sonne beleuchtet sind.

Durch die Beobachtungen von 1842 aufmerksam gemacht, w mehrere Astronomen bei der totalen Sonnenfinsterniss, welche am 2 1851 im mittleren Russland, dem nördlichen Deutschland und den lichen Schweden stattfand, gerade auf diesen Punkt ihre Aufmerksamkeit. — Busch, Director der Sternwarte zu Königsberg, beobachtete das Phänomen gemeinschaftlich mit dem jüngeren Littrow und einigen deren Freunden der Wissenschaft zu Rixhöft (7 Meilen nordwestlich von Danzig). Fearnley, einer der Beobachter von Rixhöft, hat zu seinen Beobachtungen eine Zeichnung entworfen, welche nach dem Vorniss von Busch die Erscheinung sehr treu darstellt. Tab. VI. ist eine Copie dieser Abbildung. An zwei Stellen, bei *a* und bei *b*, zeigt sich blassrothe kegel- oder pinselförmige Lichtbüschel, während die thümlich gestaltete Protuberanz bei *c* einen entschieden wolkenartigen Charakter zeigte. Diese durch Form und Grösse ausgezeichnete Protuberanz trat aber gerade an einer Stelle hervor, in deren Nähe man vorher auf der Sonne eine grosse von Sonnenfackeln umgebene Gruppe beobachtet hatte.

Eine ähnliche Beobachtung war auch bei Gelegenheit einer in 1850 auf der Südsee sichtbaren Sonnenfinsterniss gemacht worden.

Dass die Erscheinung des Strahlenkranzes von einem zum Sonnenkörper selbst gehörigen Stoffe herrühre, dass sie nicht etwa von der Luft behauptet worden war, ein Interferenzphänomen sei oder von Wolkenmassen unserer Erdatmosphäre herrühre, geht schon aus der gleichfalls von Busch gemachten Beobachtung hervor, dass während der totalen Finsterniss die Protuberanzen auf der Ostseite der Sonne während kleiner werden, indem der Mondrand sie mehr und mehr bedeckt, während umgekehrt die Protuberanzen auf der Westseite der Sonne und mehr hinter dem Mondrande hervorzusteigen scheinen. Dies bestätigt auch Struve, welcher durch genaue Messungen darthut, dass das Fortrücken des Mondrandes gegen die Protuberanzen mit der Geschwindigkeit entsprach, mit welcher der Mond sich über die Sonnenscheibe fortbewegte.

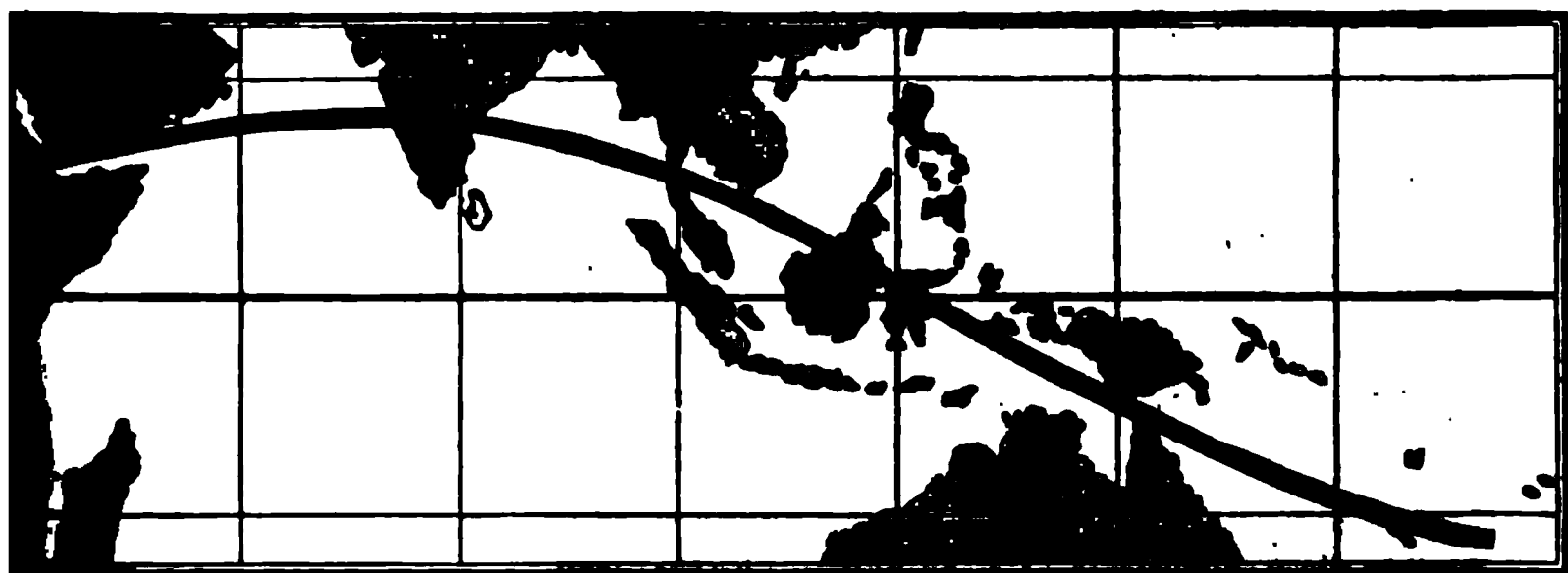
Die Beobachtung der totalen Sonnenfinsternisse, welche stattgefunden haben, hat nicht allein die Existenz einer Sonnenatmosphäre ausser Zweifel gesetzt, sondern auch die wichtigsten Aufschlüsse über die Natur dieser Atmosphäre gegeben.

Bei der vorzugsweise in Spanien sichtbaren totalen Sonnenfinsterniss von 1860 ergab sich, dass mehrere Protuberanzen zugleich an verschiedenen Orten beobachtet wurden. Alle Zweifel über die Natur der Protuberanzen wurden aber durch die Beobachtung der totalen Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 gehoben, welche vorzugsweise durch die Anwendung der Spectralanalyse auf die Protuberanzen von so grosser Bedeutung für die Wissenschaft geworden ist, dass wir ihr eine ausführlichere Besprechung widmen müssen.

Zur Zeit dieser Finsterniss befand sich die Sonne fast in ihrer

ne, der Mond aber in seiner Erdnähe und in Folge dessen war Dauer der totalen Verfinsterung ungewöhnlich gross. Während totale Verfinsterung im Jahre 1860 nur $2\frac{1}{2}$ Minuten gedauert hatte, erging die Dauer der totalen Verfinsterung im Jahre 1868 auf der Westseite von Vorderindien $5' 10''$, an der Ostküste $5' 45''$ und erreichte im f von Siam ihr Maximum von $6' 50''$. Das Kärtchen Fig. 175 zeigt Zone der Totalität, welche bei einer Breite von 30 geographischen Breiten eine Länge von 2000 Meilen hatte.

Fig. 175.



Zur Beobachtung dieser Finsterniss wurden die umfassendsten Vorrichtungen getroffen und insbesondere schickten England, Frankreich, Österreich und der Norddeutsche Bund besondere Expeditionen an verschiedene Punkte der Totalitätszone.

Eine norddeutsche Expedition, bei welcher sich Spörer befand, beobachtete zu Mulvar an der Westküste von Vorderindien, während eine norddeutsche photographische Expedition ihre Aufstellung in der Nähe von Aden an der Südspitze von Arabien genommen hatte. In der Nähe von Aden beobachteten auch die Mitglieder der österreichischen Expedition. Englische Beobachter waren an der West- und an der Ostküste von Vorderindien placirt. An der Ostküste von Vorderindien stellte auch der französische Physiker Janssen seine ergebnissreichen Beobachtungen an, während eine andere französische Expedition ihren Standpunkt auf der Halbinsel Malacca gewählt hatte.

Leider ist die Beobachtung dieser vielversprechenden Finsterniss nicht von der Witterung begünstigt gewesen. An der Westküste von Indien, wo die Finsterniss 5 Minuten dauerte, herrschte so trübes Wetter, dass die deutsche Expedition die Sonne nur 5 Secunden lang durch eine Wolkenlücke beobachten konnte, eine Zeit, welche jedoch hinreichte, um die Lage und Dimensionen einiger Protuberanzen zu bestimmen. Auf der Ostküste Vorderindiens klärte sich der Himmel auf und gestattete länglichere Beobachtungen. In Aden, wo die Finsterniss um $6^h 20'$ begann, herrschte zwar auch trübes Wetter, es wurde jedoch möglich, die Sonne durch die Wolken zu beobachten und mehrere gute Photographieen zu erhalten.

Fig. 176 stellt eine Totalansicht der Finsterniss dar; man sieht in der corona deutlich mehrere Protuberanzen, von denen besonders oben rechts besonders merkwürdig ist. Sie erscheint auf den zu

Fig. 176.



aufgenommenen
graphischen und
nicht allein 32 Meilen
später zu Mulva
ungefähr 350 Meilen
Aden entfernt, von
deutschen, sondern
noch in Hinde
von der französischen
Expedition nahe
derselben Lage und
stalt beobachtet,

unzweifelhaft
geht, dass diese
dem Sonnenkörper
angehören. Die
bare Höhe dieser
berans ist von 1
dern und Fraunhofer
messen und gleich

keiten gefunden worden, wonach die wahre Höhe dieses Gebildes 20,000 geographische Meilen betragen muss. Weiss (österreich.) beobachtete diese grosse, während der Totalität der Finsterniss selbst blossen Auge sichtbare, in lebhaftem Carmin glänzende Protuberanz eine Minute lang nach dem Hervorbrechen der Sonne, bis eine Wolke verdeckte.

Schiffslieutenant Rziha (österreich. Exped.) führte Spectralbeobachtungen aus und bemerkte beim Eintritt der Totalität ein plötzliches Verschwinden aller dunklen Fraunhofer'schen Linien. Das Spectrum der Sonne war ein zwar blasses, aber vollkommen continuirliches. Dass man in der corona keine hellen Linien wahrnahm, rührt offenbar nur daher, dass sie zu lichtschwach ist und man den Spalt des Instrumentes weit öffnen muss.

Die Spectralanalyse der Protuberanzen aber, welche theils auf der Ostküste von Vorderindien, theils auf der Halbinsel Malakka von Rayet, A. Herschel, Tennant, Janssen u. A. ausgeführt wurde, lieferten dagegen den unumstösslichen Beweis, dass diese Gebilde gasförmiger Natur sind. Bei Anwendung des mit Fernrohren verbundenen Geradausschau Spectroscops (spectroscope à vision directe) sieht man nämlich, dass das Spectrum der Protuberanzen aus einigen hellen Linien besteht. Einige Beobachter zählten deren

andere fünf oder nur drei. Die den Fraunhofer'schen Linien *C* und *F* entsprechenden hellen Linien wurden von allen Beobachtern wahrgenommen und somit ist also glühendes Wasserstoffgas der wesentliche Bestandtheil der Protuberanzen; ausser diesen beiden Hauptlinien wurden aber auch von einzelnen Beobachtern eine Linie nahe bei *D*, eine Linie nahe bei *G* und mehrere andere gesehen.

Die grosse Helligkeit der Linien des Protuberanzspectrums erregten Janssen die Hoffnung, dieselben auch ausser der Zeit einer totalen Sonnenfinsterniss, also jederzeit mit dem Spectroskop beobachten zu können, wenn nur überhaupt die Sonne am Himmel steht. Der gleich am 19. August, dem Tage nach der totalen Finsterniss, von ihm gemachte Versuch bestätigte seine Hoffnung auf das Vollständigste. Er richtete den Spalt des an einem grossen Fernrohre angebrachten Spectroskops an den Rand der Sonnenscheibe, und zwar nach den nämlichen Stellen, welchen er Tags zuvor leuchtende Protuberanzen beobachtet hatte. Es zeigten sich zwei Spectra, nämlich das des Sonnenrandes mit den dunklen Linien und das aus hellen Linien bestehende Spectrum der Protuberanzregion. Um den störenden Glanz des Sonnenspectrums zu vermeiden, wurde das Instrument so gestellt, dass das Gelb, Grün und Blau innerhalb des Gesichtsfeldes fiel und nur das Roth übrig blieb; es zeigte sich jetzt die dunkle Linie *C* im Spectrum des Sonnenrandes und in der Verlängerung desselben eine hellglänzende rothe Linie. Es zeigte sich aus nur wenigen hellen Linien gebildetes Spectrum, wenn der Spalt dem Sonnenrand ganz entfernt wurde, so dass er nur auf die Protuberanzen gerichtet war.

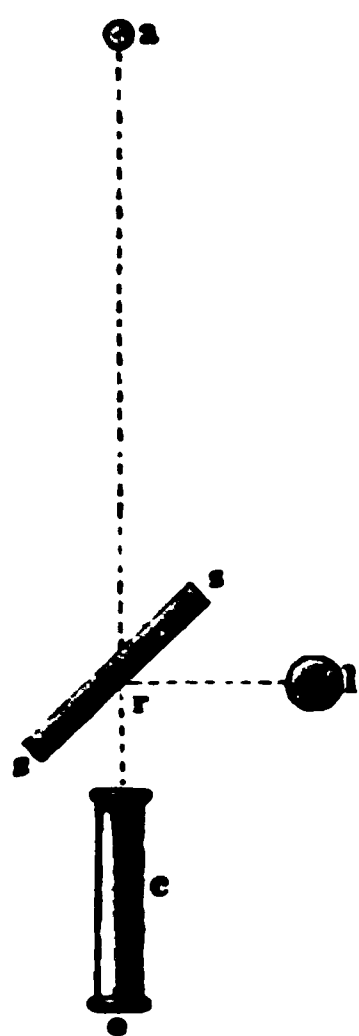
Der Grund, weshalb die Protuberanzen nicht unter den gewöhnlichen Verhältnissen bei Abblendung des intensiven Sonnenbildes sichtbar sind, liegt einfach in dem das Bild der Protuberanz überdeckenden stark beleuchteten Theilchen unserer Atmosphäre. Bei einer totalen Sonnenfinsterniss wird dieses superponirte Licht so bedeutend abgeschwächt, dass die intensiv leuchtenden Protuberanzen sammt der corona sichtbar werden.

Die Möglichkeit, die Protuberanzen bei vollem Tageslicht sichtbar zu machen, beruht nun darauf, dass das Licht der Protuberanzen nur aus drei homogenen Lichtarten besteht, bei prismatischer Zerlegung also drei lichtstarke isolirte Bilder liefert, während das weisse superponirte Licht der Atmosphäre zu einem vollständigen Spectrum von verhältnissmässig geringer Lichtstärke ausgebreitet, also an den einzelnen Stellen des Spectrums so abgeschwächt wird, dass es die hier auftretenden lichtstarken Protuberanzbilder nicht mehr unsichtbar machen kann.

Von der Anwendbarkeit dieses Principes kann man sich leicht auf folgende Weise überzeugen. Es sei *a*, Fig. 177 (a. f. S.), die durch Kochsalz gelb gefärbte Flamme eines Bunsen'schen Brenners, welche man durch ein 10 bis 12 Fuss von *a* aufgestelltes (in einem der folgenden Paragraphen näher zu besprechendes) Geradliniges Spectroskop *c*

betrachten kann, dessen Spalte gerade so weit geöffnet wird, da
Flamme a ihrer ganzen Breite nach sichtbar ist. Zwischen a
wird nun eine unbelegte Platte von geschliffenem Spiegelglas unter

Fig. 177.



Winkel von 45° gegen ac aufgestellt, welches Licht einer seitlich bei l aufgestellten hell
tenden Argand'schen Lampe in einer Richtung
reflectirt, welche mit ao zusammenfällt.

man von o aus ohne Spectroskop nach
so ist der Glanz des Spiegelbildes von l so
dass die Natriumflamme bei a vollkommen
bar wird, schaut man aber durch das be-
gestellte Spectroskop, so erscheint nun die
Flamme a hellglänzend auf dem lichtschei-
Spectrum, zu welchem das Bild von l ausgeht
wird.

Durch einen solchen nur etwas ande-
rangirten Versuch hat Zöllner die Richtigkeit
dieses Principis erläutert.

Schon im Jahre 1866 hatte Lockyer
sucht, auf diesem Wege das Spectrum der
beranzen zu beobachten, es gelang ihm aber
weil sein Prismenapparat nicht die hinlänglich
zerstreuende Kraft hatte. Janssen wandte
stärker zerstreunendes Prismensystem an.

welches das Spectrum der hell erleuchteten Luft mehr ausgebreitet
abgeschwächt wurde, während die homogenen Linien des Protuberanz-
spectrums keine weitere Ausbreitung und Abschwächung erfuhren.

Mit dem besten Erfolge wurden nun nach Janssen's Vorgange
Spectra der Protuberanzen auch in Europa beobachtet, namentlich
Lockyer, Secchi, Tietjen u. s. w. Secchi constatirte im Spectrum
der Protuberanzen ausser den Wasserstofflinien noch das Vorhandensein
einer hellen Linie nahe bei B und einer solchen nahe bei D (nämlich
und D selbst), einer hellen Linie zwischen den hellen Magnesium-
 b und einiger Eisenlinien.

Die ferneren Beobachtungen des Sonnenrandes mittelst des Spectro-
skops zeigten alsbald, dass die ganze Sonne rings von einer Hülle
desselben Gases umgeben ist, welches die Protuberanzen erzeugt
det, so dass also die Protuberanzen nur als locale Anhäufungen
Gases erscheinen. Die scheinbare Höhe dieser mit dem Namen
Chromosphäre bezeichneten glühenden Wasserstoffhülle wird von ver-
schiedenen Beobachtern übereinstimmend zu $15''$ angegeben, was einer
wahren Höhe von 1660 geographischen Meilen entspricht.

Secchi hat ferner die wichtige Beobachtung gemacht, dass unmittelbar
am Sonnenrande die Wasserstofflinien, und zwar namentlich die
höheren, als dunkle Linien zu erscheinen, dass man sich aber erst

am Rande entfernen muss, wenn man sie als helle Linien wahrnehmen will. Das Verschwinden der dunklen Linie *C* beobachtete Secchi auch durch den Spalt des Spectroskops auf die in der Umgebung von Sonnenfackeln auftretenden Fackeln richtete, ein Beweis, dass hier das Licht des Wasserstoffs hinlänglich intensiv war, um die Absorption der übrigen Sonnenatmosphäre zu compensiren. An der Stelle der Fackeln findet eine mächtige Anhäufung des glühenden Wasserstoffes statt, die Fackeln sind also mit den Protuberanzen identisch. Die Protuberanzen sind nichts anderes als am Sonnenrande erscheinende Fackeln.

Die sorgfältige Beobachtung des Protuberanzspectrumes gestattet auch annähernd wenigstens die Gestalt der Protuberanz selbst zu ermitteln. Die Länge der hellen Spectrallinien giebt uns nämlich Auskunft über die Höhe der Protuberanz an der Stelle, auf welche gerade der Spalt gerichtet ist; zeigt sich eine von dem Sonnenrand durch einen leeren Zwischenraum getrennte helle Linie, so kann man daraus schliessen, dass man es mit einer isolirt über der Sonne schwebenden Wasserstofffackel zu thun habe. Man braucht nur den Spalt des Spectroskops nach und nach auf die verschiedenen Parthien einer Protuberanz zu richten, die Länge und Lage der hellen Spectrallinien zu notiren, um alsdann durch Zusammenstellung dieser Data die Gestalt der ganzen Protuberanz zu construiren, wie dies Janssen in der That mit Erfolg gethan hat. Die vollkommenste Methode zur Beobachtung der Protuberanzen hat Zöllner ausgemittelt; sie besteht einfach darin, dass man den Spalt des Fernrohrs angebrachten und auf die Protuberanz gerichteten Spectroskops weit genug öffnet, um die ganze Protuberanz übersehen zu können, so dass statt der getrennten hellen Spectrallinien getrennte farbige Bilder der ganzen Protuberanz im Gesichtsfelde erscheinen, und Zöllner beobachtete deren drei, ein rothes (*C*) und ein blaues (*H*) und zwischen ihnen ein gelbes, welches sich aber von den beiden anderen dadurch unterscheidet, dass es nur für die unteren Parthien der Protuberanz sichtbar ist. Es rührt das gelbe Bild also offenbar von einem schwereren glühenden Gase her, welches nicht bis zu der Höhe des glühenden Wasserstoffgases aufsteigt.

Tab. VI^b des Atlases stellt eine Reihe der von Zöllner beobachteten Protuberanzen dar. Bei einem Theil der hier dargestellten Protuberanzen ist die scheinbare Höhe beigeschrieben. Die 120'' hohe Protuberanz, Fig. 2, zeigte eine züngelnde Bewegung, und zwar betrug die Zeit, welche eine solche Flammenquelle brauchte, um sich von der Basis bis zur Spitze des Gebildes fortzupflanzen, 2 bis 3 Secunden. Trotz eifrigen und dauernden Suchens ist es Zöllner nicht gelungen, eine ähnliche Erscheinung wieder zu beobachten.

Von der grossen Schnelligkeit jedoch, mit welcher sich die Protuberanzen ihrer Form und Intensität nach verändern, geben die übrigen Bildungen der Tab. VI^b interessante Beispiele. Fig. 3 stellt sechs rasch

aufeinander folgende Phasen einer und derselben, am 1. Juli beobachtete Protuberanz dar, wie sie zu den unten beigesetzten Zeiten erschien.

122 Physische Constitution der Sonne. Frankland hat interessante Entdeckung gemacht, dass eine Wasserstoffflamme in Sauerstoff von hohem Druck brennend, mit hellem Lichte leuchtet und ein ganz continuirliches Spectrum liefert, wie glühende feste oder flüssige Körper. Dies veranlasste Wüllner (Pogg. Ann. CXXX) das Licht des Inductionsfunken spectroscopisch zu untersuchen. Er fand derselbe nicht durch verdünnte, sondern durch verdichtete Gase durchgeht.

Wüllner hat gefunden, dass das Wasserstoffspectrum ein continuirliches wird, wenn das Gas in der Spectralröhre eine grosse Dichtigkeit hat und man dasselbe durch einen grossen Ruhmkorff'schen Apparat mit eingeschalteter Leydener Flasche ins Glühen bringt.

Geht der Funke, welchen der Apparat bei eingeschalteter Flasche liefert, durch eine Röhre, in welcher das Wasserstoffgas nur dem Lichte einer Quecksilbersäule von 23^{mm} Höhe ausgesetzt ist, so besteht das Spectrum noch aus den bekannten drei hellen Linien H_α , H_β und H_γ , denen die blaue und violette schon verwaschen sind. Der Hintergrund ist noch dunkel und nur zwischen D und F schwach erleuchtet.

Bei zunehmendem Druck dehnen sich H_β und H_γ immer mehr aus, so dass sie bald nur noch als Helligkeitsmaxima auf einem immer heller werdenden continuirlich erleuchteten Grunde erscheinen; gleichzeitig wird allmählig auch H_α weniger scharf und verbreitert sich, so dass diese rothe Linie bei einem Druck von 300^{mm} als ein breites orangefarbiges Band erscheint, welches von dem im Orange beginnenden continuirlichen Spectrum nicht mehr durch einen ganz dunklen, sondern nur durch einen mit schwächerem Lichte leuchtenden Raum getrennt ist.

Bei steigendem Druck nimmt die Helligkeit des continuirlichen Spectrums an allen Stellen zu, so dass bei einem Druck von 1000^{mm} das Spectrum zwischen dem etwas verbreiterten H_α bis H_γ ganz continuirlich ist, wie das Spectrum eines weissglühenden festen Körpers, nur mit etwas anders vertheilter Helligkeit. Bei 1230^{mm} Druck war das Spectrum wahrhaft blendend; es zeigte in Folge des bei der hohen Temperatur aus dem Glase verdampften Natriums die Natriumlinie als eine schöne dunkle Linie. — Zur Erzeugung Fraunhofer'scher Linien ist also das Licht eines glühenden festen oder flüssigen Körpers nicht mehr nöthig.

Demzufolge ist es nun nach Zöllner wahrscheinlich, dass die sichtbare Oberfläche der Sonnenscheibe durch diese Schicht der Wasserstoffatmosphäre gebildet wird, für welche durch gesteigerten Druck das Spectrum continuirlich geworden ist. Die glühend flüssige Oberfläche der Sonnenkugel liegt unterhalb dieser hell leuchtenden Schicht von Wasserstoffgas.

Betrachtet man die Sonnenflecken als schlackenartige locale Abkühlungsproducte auf der glühend flüssigen Oberfläche und die Penumbra als Condensationswolken, welche in einer gewissen Höhe die Küsten der Schlackeninseln umkränzen, so liegen also die Kerne der Sonnenflecken wirklich tiefer als die sichtbare Sonnenoberfläche, und das Wilhelmsche Phänomen findet so seine einfache ungezwungene Erklärung.

Die Tiefe der Sonnenflecken unter der leuchtenden Oberfläche beträgt, verschiedenen Beobachtungen zufolge, ungefähr 8 Secunden. Bezeichnen wir mit R den beobachteten Sonnenhalbmesser, mit r den Radius der glühendflüssigen Sonnenkugel, so ist also

$$r = R - 8''$$

Wenn R in mittlerer Entfernung der Sonne zu $16'$ angenommen,

$$r = 15' 52''.$$

Nimmt man die mittlere Parallaxe der Sonne nach Hansen zu $8,915''$, so ergibt sich für den mittleren Abstand der Sonne von der Erde

$$8'' = 5\,722\,500 \text{ Meter und}$$

$$r = 680\,930\,000 \text{ "}$$

Man sieht an den charakteristischen Formen der Protuberanzen, welche man bei der in §. 121 besprochenen Zöllner'schen Methode beobachten kann, finden sich häufig solche, deren Anblick jedem Unbefangenen die Entstehung aufdrängt, dass man es hier mit gewaltigen Eruptionen des glühenden Wasserstoff zu thun habe. Ein derartiges Beispiel liefert die gleichfalls von Zöllner beobachtete und auf Tab. 9 nach etwas vergrößerem Maassstab in zwei verschiedenen Stadien dargestellte Protuberanz. Zöllner hat oft derartige Protuberanzen beobachtet, welche in 12 Minuten bis zu einer scheinbaren Höhe von 1,5 bis 3 Bogenminuten, also bis zu einer wahren Höhe von 64 bis 128 Millionen Meter liegen.

Die bei solchen Eruptionen hervorbrechenden Wasserstoffmassen entstehen, wie es Zöllner wahrscheinlich gemacht hat (Pogg. Ann. CXLI), aus localen Ansammlungen her, welche sich in den unterhalb der flüssigen Oberfläche gelegenen Schichten bilden und ihre äussere Begrenzung durch die wachsende Spannung des eingeschlossenen Gases durchbrechen.

Es sei nun v die Geschwindigkeit, mit welcher die Gasmasse m aus der in der flüssigen Oberfläche gebildeten Oeffnung hervorströmt, so ist

die lebendige Kraft $m \frac{v^2}{2g}$, wenn g die beschleunigende Kraft der Schwere an der Oberfläche der Sonne bezeichnet. Die dieser lebendigen Kraft entsprechende Wärmemenge ist

$$W = A \frac{v^2}{2g} \cdot m,$$

in A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit ist.

Nehmen wir an, dass der Wasserstoff unter einem constanten Druck dem Innern durch die Oeffnung ausströmt, so ist die Wärmemenge,

welche beim Ausströmen der Gasmenge m verschwindet, indem sich dieselbe von der Temperatur t_i (der Temperatur im Inneren) bis zur Temperatur t_a (Temperatur an der oberen Gränze der Mündung) abkühlt,

$$W' = m \cdot c (t_i - t_a),$$

wenn c die specifische Wärme des Wasserstoffs bei constantem Druck bezeichnet.

Diese Wärmemenge ist es aber, von welcher die lebendige Kraft ausströmenden Gases herrührt, wir haben also $W = W'$ und daraus

$$A \frac{v^2}{2g} = c (t_i - t_a) \dots \dots \dots$$

Bezeichnet man mit H die Höhe, bis zu welcher ein mit der Anfangsgeschwindigkeit v in die Höhe geschleuderter Körper über Sonnenoberfläche aufsteigen wird, so haben wir (wenn die Abnahme Schwerkraft, welche der wachsenden Entfernung vom Sonnenmittelpunkt entspricht, unberücksichtigt bleibt):

$$H = \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots$$

folglich nach Gleichung 1)

$$t_i - t_a = \frac{AH}{c} \dots \dots \dots$$

Setzen wir in diese Gleichung für A , H und c ihre Zahlenwerthe, nämlich $A = \frac{1}{424}$, $H = 64\,000\,000$ und $c = 3,409$, so ergibt sich

$$t_i - t_a = 44\,270^\circ,$$

d. h. die absolute Temperatur der eingeschlossenen Gasmasse ist $44\,270^\circ$ C. höher als die Temperatur der Sonnenatmosphäre unmittelbar über der glühendflüssigen Oberfläche der Sonne.

Setzen wir in Gl. 2 für H seinen Werth $64\,000\,000^m$, für g seinen Werth 274^m , so ergibt sich

$$v = 187\,250^m,$$

d. h. eine Geschwindigkeit von 25 geographischen oder 123 englischen Meilen.

Auf die Principien der mechanischen Wärmetheorie sich stützend berechnet Zöllner nach Formeln, auf deren Entwicklung hier nicht eingegangen werden kann, für die mittlere Temperatur der Sonnenatmosphäre den Werth

$$t = 27\,000^\circ \text{ C.},$$

eine Temperatur, welche so hoch ist, dass das Eisen in der Sonnenatmosphäre dauernd in gasförmigem Zustande existiren muss.

Die Temperatur im Inneren der Sonne beträgt demnach ungefähr $70\,000^\circ$ C.

Zöllner berechnet ferner, dass der Druck an der Stelle, an welcher das Wasserstoffspectrum continuirlich zu werden beginnt, ungefähr $\frac{1}{4}$ des irdischen Atmosphärendrucks beträgt. Danach aber ergiebt sich der Druck auf der Oberfläche der flüssigen Trennungsschicht gleich dem von 184 000 Atmosphären,

im Inneren der Räume aber, aus welchen die Protuberanzen hervorbrechen, ist der Druck

4 070 000 Atmosphären,

so ein so enormer Druck, dass selbst bei der hohen Temperatur, welche hier herrscht, die permanenten Gase, also auch der Wasserstoff, nur im flühendflüssigen Zustande existiren können.

Die Quelle der Sonnenwärme mag vorläufig noch in Frage gestellt bleiben.

Das Zodiacallicht. Um die Zeit der Frühlings-Tag- und Nacht- 123
heide erscheint manchmal an sternhellen Abenden, wenn die letzte Spur der Dämmerung verschwunden ist, am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstrasse, welcher die Form einer schief auf dem Horizont stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt fast ganz mit der Ebene des Sonnenäquators zusammen, der ganze Streifen fällt also am Himmel nahezu in den Thierkreis, da die Ebene des Sonnenäquators nur einen Winkel von 7° mit der Ebene der Ekliptik macht; daher der Name Zodiacallicht.

In unseren Gegenden bildet in der genannten Jahreszeit die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizont.

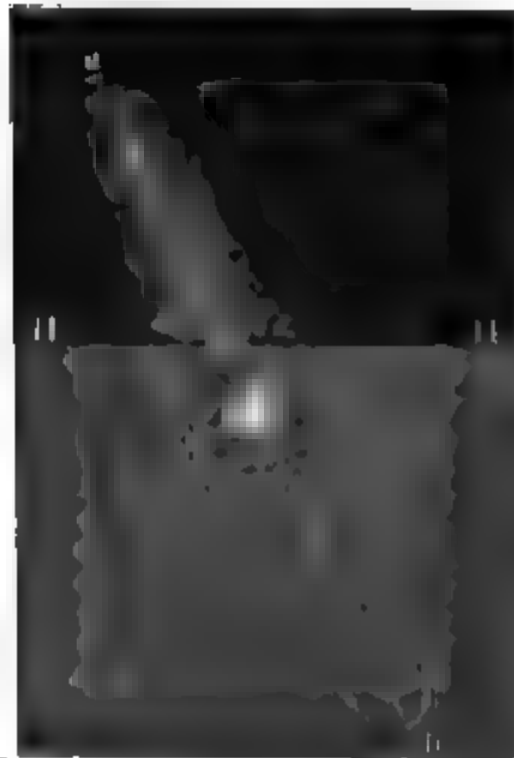
Mit seltener Schönheit erschien dieses Phänomen im Februar und März 1856. Zuerst beobachtete ich dasselbe am 25. Februar gegen 9 Uhr Abends; es blieb bis gegen 9 Uhr sichtbar; ausserdem sah ich es noch bis zum 8. März an sieben Abenden ungefähr um dieselbe Zeit. In den folgenden heiteren Abenden wurde das Zodiacallicht durch den wachsenden Mond unsichtbar gemacht, und ich beobachtete dasselbe erst wieder an den Abenden vom 24. bis zum 30. März.

Diese häufige und ausgezeichnete Erscheinung des Zodiacallichts gab mir Gelegenheit, von demselben eine möglichst treue Abbildung Tab. VI^a machen zu lassen, und zwar mit allen Sternen, wie sie gerade zu jener Zeit am westlichen Himmel standen.

Am östlichen Himmel erscheint das Zodiacallicht wohl auch und zwar am Morgens vor Sonnenaufgang zur Zeit des Herbstäquinocmiums, aber noch nie so lichtstark wie zur Zeit des Frühlingsäquinocmiums am Abendhimmel.

Dass das Zodiacallicht selbst im Frühjahr selten wahrgenommen wird, beruht nur darauf, dass gerade im Februar und März der Him-

Fig. 178.



Abends selten so rein ist, wie zur Wahrnehmung einer so m Lichterscheinung nothwendig ist.

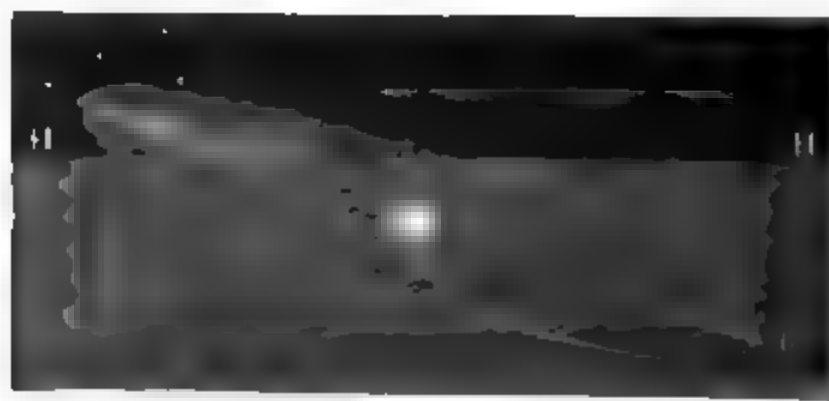
Von den verschiedenen Umständen, unter welchen das Zodiacallicht erscheint, kann man sich am besten Rechenschaft geben, wenn man vorstellt, dass die Sonne von ungeheuren linsenförmig abgeplatteten Atmosphären umgeben ist, deren Mittelpunkt sie steht, deren grösste Ausdehnung in der Ebene der Ekliptik fällt.

solche Atmosphäre würde sich der Erde aus gesehen ungefähr darstellen, wie Fig. 178 a zeigt; da sie aber nur ein schwaches Licht ausstrahlt, so wird sie nicht wahrgenommen.

lange die Sonne selbst noch über dem Horizont steht, sondern nur vor Sonnenaufgang oder nach Sonnenuntergang.

Ferner ist die Sichtbarkeit des Zodiacallichts an die Ekliptik geknüpft, dass der Punkt a der fingierten Sonnenatmosphäre möglichst nach der Sonne untergeht, dass also die grosse Axe ab dieser Atmosphäre einen möglichst grossen Winkel mit dem Horizont bildet. Da nun aber diese grosse Axe nahezu mit der Ekliptik zusammenfällt,

Fig. 179.



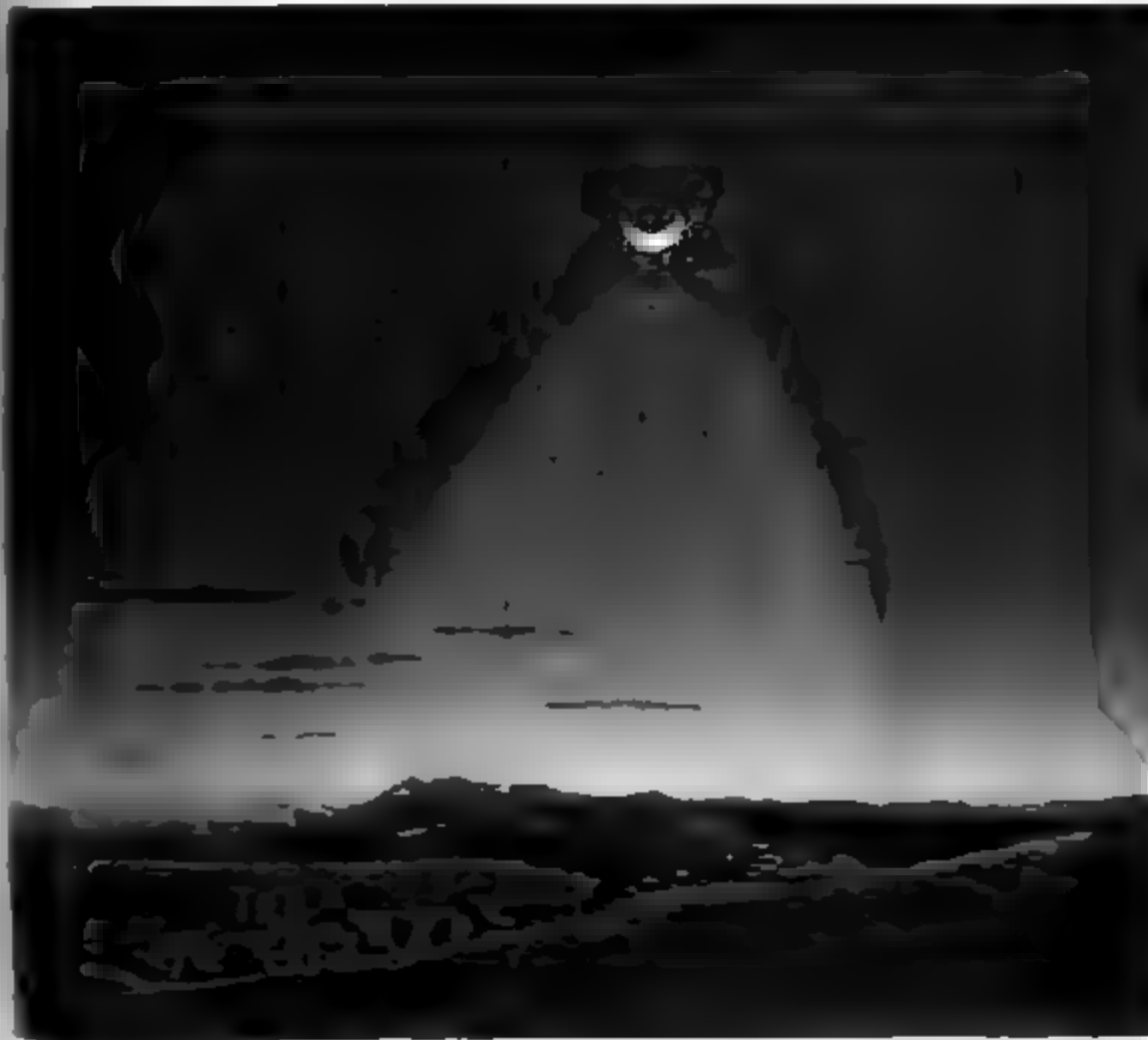
so wird das Zodiacallicht vorzugsweise dann sichtbar sein, wenn in Morgen- oder Abendstunden die Ekliptik möglichst steil aufgerichtet erscheint. Für die nördliche Erdhalbkugel erscheint aber die Ekliptik am steilsten aufgerichtet, wenn der Frühlingspunkt im westlichen, der Herbstpunkt im östlichen Horizont steht, der Sommer- und Winterpunkt aber am niedrigsten. In den Abendstunden ist dies nun im Frühjahr, in den M

Es ist es im Herbst der Fall und daraus erklärt sich, warum das Zodiacallicht bei uns vorzugsweise in den oben bezeichneten Zeiten gesehen wird.

Den kleinsten Winkel macht die Ekliptik mit dem Horizont, wenn der Herbstpunkt eben unter-, der Frühlingspunkt eben aufgeht und der Wintersonsticialpunkt culminirt. Im mittleren Deutschland macht alsdann die Axe des Zodiacallichts nur einen Winkel von ungefähr 17° mit dem Horizont, wie dies Fig. 179 angedeutet ist. Diese Lage hat das Zodiacallicht in den Morgenstunden des Frühlahrs und in den Abendstunden des Herbstes; es sind dies für die Sichtbarkeit des Zodiacallichts die ungünstigsten Zeiten, wie man nach den obigen Auseinandersetzungen leicht ersieht.

Je mehr man sich auf der Erde dem Nordpol nähert, desto mehr nimmt der Winkel ab, welchen die Ekliptik mit dem Horizont macht,

Fig 180.



Es werden also die Verhältnisse zur Beobachtung des Zodiacallichts ungünstiger. Umgekehrt werden dieselben immer günstiger, wenn man sich der Aequatorialzone nähert, einmal weil alsdann der Winkel, welchen die Axe des Zodiacallichts mit dem Horizont macht, immer mehr wächst und dann auch, weil in den Tropen der Himmel ungleich reiner ist als

in höherer Breite. Deshalb ist denn auch zwischen den Wendekr die Erscheinung des Zodiacallichts nicht allein weit brillanter, sondern auch weit häufiger, so dass Humboldt dasselbe einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt.

Auf der südlichen Hemisphäre ist die Zeit des Herbstäquinoxiums die günstigste Periode zur Beobachtung des Zodiacallichts am Abendhimmel.

Während bei uns die Spitze des Zodiacallichtes stets nach Süden gerichtet ist, erscheint auf der südlichen Erdhälfte die Lichtpyramide des Zodiacallichtes nach Norden geneigt, so dass am Abendhimmel die Scheitel des Lichtkegels rechts von der Basis erscheint, wie man nach Fig. 180 (a. v. S.) sieht, welche das Zodiacallicht darstellt, nach einer Zeichnung von Ludwig Becker am 11. October 1867 in Melbourne in Australien beobachtet wurde. Ueber dem Gipfel des Zodiacallichtes erblickte man an jenem Abend in der Nähe der Pleiaden Venus und Antares, während in einiger Entfernung nach Südwest hin (rechts von dem Zodiacallicht unserer Figur) der Donatistenschein stand, welcher am 11. October zu Melbourne zum ersten Male sichtbar wurde.

Was die Erklärung des Zodiacallichtes betrifft, so sind bis jetzt viele Meinungen darüber aufgestellt worden; nach Mairan's Erklärung ist das Zodiacallicht die Atmosphäre der Sonne, welche entweder selbst leuchtend ist, oder von der Sonne erleuchtet wird; diese Atmosphäre wegen des schnellen Umschwungs der Sonne so stark abgeplattet, dass sie als ein in der Richtung des Sonnenäquators liegender Streifen erscheint. Aus den Gesetzen der Gravitation lässt sich aber darthun, dass eine etwaige Sonnenatmosphäre sich nicht bis zur Mercursbahn erstrecken kann. Weit wahrscheinlicher ist dagegen die andere Ansicht, nach welcher die Erscheinung des Zodiacallichtes einem um die Sonne herumliegenden Nebelringe zuzuschreiben ist.

Im Mai 1867 fand Angström, dass das Spectrum des Zodiacallichtes aus einer einzigen hellen Linie besteht, welche nahezu zwischen *D* und *E* in der Mitte liegt und deren Wellenlänge 0 000 5567 meter ist.

124 Photometrische Vergleichung der Fixsterne. Die Fixsterne werden, wie bereits im ersten Capitel des ersten Buches angedeutet wurde, in verschiedene Grössenklassen eingetheilt. Da nun die Fixsterne selbst bei der stärksten Vergrößerung keinen wirklichen, messbaren Durchmesser zeigen, da also von einer Grösse eigentlich bei ihnen keine Rede sein kann, so bezieht sich jene Eintheilung nicht sowohl auf die Grösse, als vielmehr auf den Glanz der Fixsterne.

Die Eintheilung in Sterne erster, zweiter, dritter u. s. w. Grösse ist übrigens eine ganz willkürliche und conventionelle; es liegen ihr bisher keine vergleichenden Messungen der Lichtstärke der Fixsterne zu Grunde.

unde. Der Erste, welcher eine solche Vergleichung versuchte, war der Herschel, welcher folgende Methode in Anwendung brachte:

Zwei siebenfüssige, vollkommen gleiche Teleskope, welche also denselben Stern mit gleicher Helligkeit zeigten, wurden so neben einander gestellt, dass der Beobachter sich ungefähr in einer Secunde von dem einer des einen an das des anderen begeben konnte. Vor dasjenige Fernrohr nun, welches auf den helleren Stern gerichtet war, wurden Schirme vorgeschoben, welche der Reihe nach immer kleinere und kleinere kreisförmige Oeffnungen hatten, bis man endlich bei einer Grösse der Oeffnung ankam, durch welche der hellere Stern gerade ebenso erschien wie der andere durch das zweite Teleskop, dessen Oeffnung ganz die gleiche war.

War z. B. das eine Fernrohr auf den Arcturus (α Bootis), das zweite auf γ des grossen Bären gerichtet, so zeigten sich beide Sterne gleich hell, wenn vor das erste Fernrohr ein Schirm gesetzt war, dessen Oeffnung einen viermal kleineren Flächeninhalt hatte als die freie Oeffnung des zweiten Fernrohrs, und daraus geht hervor, dass uns α Bootis viermal so viel Licht zusendet als γ ursae majoris.

Durch solche Messungen hat sich nun ergeben, dass im Durchschnitt die Lichtintensität der Sterne zweiter, dritter, . . . nter Grösse 4 mal, dritter . . . n² mal u. s. w. geringer ist als die Lichtstärke der Sterne erster Grösse.

Da das Licht im Verhältniss des Quadrats der Entfernung geschwächt wird, so würde Arcturus in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung noch als ein Stern zweiter, dritter und vierter Grösse erscheinen.

Die eben besprochene Methode, die Lichtstärke verschiedener Sterne zu vergleichen, leidet besonders an dem Uebelstande, dass man die beiden Sterne nicht gleichzeitig neben einander sieht. Diesem Uebelstande hat man auf verschiedene Weise durch Spiegelvorrichtungen abzuhelfen gesucht.

Im Jahre 1846 hat Seidel nach einer von Steinheil herrührenden Methode eine Reihe photometrischer Fixsternvergleiche angestellt. Nimmt man die Helligkeit der Wega zur Einheit, so ist nach diesen Messungen Folgendes die Lichtstärke der bei uns hinlänglich deutlich erscheinenden Sterne erster Grösse:

Sirius	= 5,13	Spica	= 0,49
Rigel	1,30	Atair	0,40
Wega	1,00	Aldebaran . . .	0,36
Arcturus	0,84	Deneb	0,35
Capella	0,83	Regulus	0,34
Procyon	0,71	Pollux	0,30

Orionis fehlt hier, weil er veränderlich ist.

Da ein Stern sechster Grösse ungefähr 36mal lichtschwächer ist als die Wega, so würden also erst 180 Sterne sechster Grösse zusammen die Helligkeit des Sirius erzeugen.

Durch Vergleichung der Wega mit Mars und Jupiter fand Se die Lichtstärke dieser beiden Planeten zur Zeit der Opposition gleich und 8.5.

Wollaston verglich sowohl den durch Sonnenlicht als auch durch Mondlicht bewirkten Schatten mit dem Schatten eines Körpers, und fand so, dass die Sonne 800 000mal lichtstärker sei als der Vollmond. Durch Vergleichung der von einer Glaskugel reflectirten Bilder des Mondes und des Sirius ergab sich ferner, dass uns der Sirius 2500mal heller leuchtet als Sirius, und demnach wäre die Helligkeit des Sirius 2000 Millionen mal schwächer als die der Sonne. Nimmt man nun die jährliche Parallaxe des Sirius gleich $0.23''$ an, so übertrifft die absolute Lichtstärke des Sirius die der Sonne 63mal.

Wenn also unsere Sonne in derselben Entfernung von uns sich befände, wie Sirius, so würde sie 63mal lichtschwächer sein als die Sonne, und 12mal lichtschwächer als Wega; sie würde uns also lichtschwächer scheinen als ein Stern dritter Grösse.

Auf der im Herbst 1858 zu Karlsruhe gehaltenen Naturforscherversammlung machte Schwersch Mittheilung über ein von ihm zur metrischen Vergleichung der Sterne construirtes Instrument, welches in Genauigkeit und Sicherheit alles übertraf, was in dieser Beziehung dahin geleistet worden war.

Das Instrument besteht im Wesentlichen aus zwei nach allen Richtungen beweglichen Fernrohren, welche auf die zu vergleichenden Sterne gerichtet werden, deren Bilder aber mittelst äusserst sinnreicher, nicht näher zu beschreibenden Vorrichtungen gleichzeitig und unmittelbar nebeneinanderstehend gesehen werden.

Unter dem Titel „Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels“ hat Zöllner im Jahre 1861 eine umfangreiche Abhandlung über den genannten Gegenstand publicirt, in welchem er ein von ihm construirtes, zur Helligkeitsmessung der Gestirne dienendes Instrument beschreibt, welches ohne Zweifel eine um so grössere Verbreitung finden wird, als es mit verhältnissmässig geringen Mitteln hergestellt werden kann. Mittelst dieses Instrumentes werden die Sterne des Himmels mit einem künstlichen Sterne verglichen, dessen Helligkeit durch eine Polarisationsvorrichtung beliebig abgeschwächt werden kann, bis sie der Helligkeit dem zu beobachtenden Himmelsstern gleich ist. Da bei dieser Abschwächung des künstlichen Sterns eine Polarisationsvorrichtung angewendet wird, so nennt Zöllner sein Instrument Polarisations-Photometer.

Fig. 181 mag dazu dienen, das Wesentlichste der Einrichtung des Photometers verständlich zu machen. AB stellt ein Fernrohr dar, dessen Einrichtung etwas von der gewöhnlichen abweicht. Das Ocular ist veränderlich bei b befestigt, während das bei A befindliche Objectiv in der Richtung der Axe des Rohrs verschoben werden kann. Bei s ist eine planparallele Glasplatte so befestigt, dass sie einen Winkel von 45°

es Rohres macht. Diesem durchsichtigen Spiegel gegenüber ist seitlich durchbrochen, so dass ein Auge bei o das Spiegel-

Fig. 181.

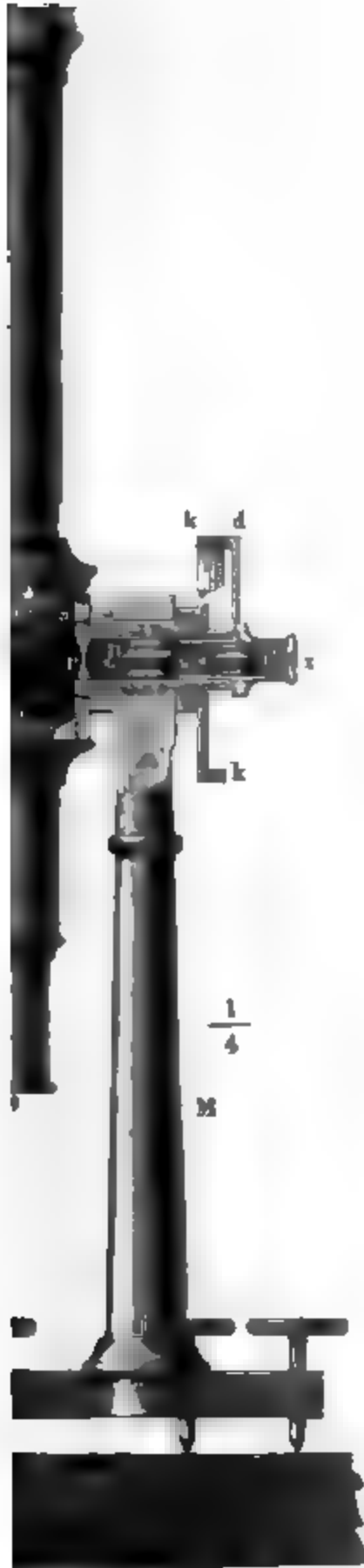


bild einer bei x befindlichen, durch eine constante Lichtquelle erleuchteten feinen Oeffnung in der Axe des Fernrohrs erblickt. Damit das Spiegelbild der kleinen (2 bis 4 Millimeter weiten) Oeffnung x nicht gar zu weit hinter den Spiegel falle, ist bei r eine Hohllinse von kurzer Zerstreuungsweite angebracht, welche zugleich bewirkt, dass das bei a liegende Spiegelbild der Oeffnung x vollkommen sternartig erscheint.

Die Brennweite der Ocularlinse b muss so beschaffen sein, dass das Auge bei o das Spiegelbild bei a vollkommen scharf sieht. Durch Ausziehen der Röhre, an deren Ende A die Objectivlinse befestigt ist, kann man es leicht dahin bringen, dass das Bild, welches diese Objectivlinse von dem zu beobachtenden Sterne entwirft, gerade neben a entsteht, dass also der Stern des Himmels und der künstliche Stern gleichzeitig scharf gesehen werden.

In der von der Messingsäule M getragenen Hülse, welche die horizontale Umdrehungsaxe des Fernrohrs bildet, ist ein Nicol'sches Kalkspathprisma n so eingesetzt, dass seine Lage gegen den Spiegel ss stets ungeändert bleibt, und zwar sind die Schwingungen der Strahlen, welche durch das Nicol gegangen sind, parallel mit der Ebene des Spiegels ss , so dass sie also möglichst vollständig von demselben reflectirt werden können.

Bei p ist ein zweites Nicol angebracht, welches um seine Axe gedreht werden kann, während n unverändert stehen bleibt, so dass also

, welchen die Schwingungsebenen der beiden Nicols mit ein-

ander machen, beliebig geändert werden kann. Mit dem Nicol p drehen sich der Nonius d , welcher sich längs des in 360° getheilten Kreises bewegt, an welchem demnach die Drehung des Nicols p abgelesen werden kann. Der Nonius d zeigt auf den Nullpunkt der Kreistheilung kk , wenn die Schwingungsebenen der beiden Nicols gekreuzt sind, in welchem Falle dann der künstliche Stern ganz verschwindet. Wird das Nicol mit seiner Fassung aus dieser Stellung herausgedreht, so nimmt die Helligkeit des künstlichen Sterns um so mehr zu, je weiter sich der Nonius von dem Nullpunkt der Theilung entfernt, um ihr Maximum bei 90° zu erreichen.

Als constante Lichtquelle dient eine eigenthümlich construirte Lampe, deren Flamme vor x aufgestellt ist. Das Licht dieser Flamme kann nur durch eine kleine Oeffnung in einem geschwärzten Bleche auf die Oeffnung x fallen. So lange bei unveränderter Natur des Lichtgases der Gaszufluss constant und die Flammenhöhe unverändert bleibt, kann man auch die Lichtstärke der Flamme als unveränderlich betrachten. Jedenfalls ist dies für alle in der gleichen Nacht gemachten Beobachtungen der Fall. Eigentlich sieht man zwei Spiegelbilder des Punktes x , nämlich eines durch Reflexion auf der Vorderfläche, durch Reflexion auf der Hinterfläche des Spiegels ss . Bei der metrischen Vergleichung der Sterne wird nur von dem durch Reflexion auf der Vorderfläche entstandenen Bilde Gebrauch gemacht.

Wenn nun die Helligkeit zweier Sterne mit einander verglichen werden soll, so wird das Fernrohr zunächst auf den einen, α , gerichtet und dann das Nicol p sammt seiner Fassung und dem Nonius d gedreht, bis der künstliche Stern dem zu beobachtenden an Helligkeit gerade gleich ist; alsdann wird der Nonius abgelesen, wodurch man erfährt, wie gross der Winkel v ist, um welchen man das Nicol von seiner Anfangsposition gedreht hat.

Hierauf wird dieselbe Beobachtung an einem zweiten Sterne gemacht. Wir wollen mit v' den Winkel bezeichnen, um welchen man das Nicol p aus seiner Anfangsposition drehen musste, um den künstlichen Stern diesem zweiten Sterne β gleich zu machen. Nach diesen beiden Ablesungen ergibt sich nun, dass die Helligkeit der beiden Sterne α und β sich verhält wie die Quadrate der Sinus von v und v' .

Nimmt man also die Helligkeit eines der beiden Sterne, etwa des Sternes α zur Einheit, so ist also die Helligkeit des Sternes β

$$\frac{(\sin v')^2}{(\sin v)^2}$$

Bei einer derartigen Messung ergab sich z. B. für δ coronae $v = 11,3^\circ$; für α coronae ergab sich $v' = 30,9^\circ$; demnach ist die Helligkeit von δ coronae gleich

$$\frac{(\sin 30,9)^2}{(\sin 11,3)^2} = \frac{0,5135^2}{0,1959^2} = 6,871.$$

Bei einer zweiten Vergleichung derselben Sterne ergab sich für α coronae $v = 11,1^0$ und für α coronae $v' = 31^0$, was für die Helligkeit von α coronae den Werth

$$7,199$$

gibt. Im Mittel ist also die Helligkeit von α coronae gleich 7,035, wenn man die Helligkeit des Sternes δ coronae gleich 1 setzt.

Bestimmung des Durchmessers der kleinen Planeten. 125

In den photometrischen Untersuchungen Steinheil's verhalten sich die Lichtmengen, welche die Sterne verschiedener Grössenklassen zur Erde senden, im Durchschnitt wie folgt:

Sterne sechster Grösse	10
„ fünfter „	28
„ vierter „	80
„ dritter „	227
„ zweiter „	642
„ erster „	1819,

Nach also die Lichtmenge, welche uns ein Stern irgend einer Grössenklasse zusendet, im Durchschnitt $\frac{1}{2,83}$ mal geringer wäre als die Lichtmenge, welche von einem Stern der nächst höheren Classe zu uns gelangt.

Dieses Resultat ist aus der Beobachtung von 26 Sternen erster bis sechster Grösse abgeleitet. Aus Gründen, die wir hier nicht erläutern wollen, reducirt Stampfer den obigen Factor, welchen wir kurz mit $\frac{1}{2,519}$ bezeichnen wollen, auf $\frac{1}{2,519}$. Bezeichnen wir also die Lichtstärke

des mittleren Sternes erster Grösse mit 1, so wäre demnach die Lichtstärke der Sterne

	2ter	3ter	4ter	5ter . . .	n-ter Grösse.
gleich	$\frac{1}{2,519}$	$\frac{1}{(2,519)^2}$	$\frac{1}{(2,519)^3}$	$\frac{1}{(2,519)^4}$	$\frac{1}{(2,519)^{n-1}}$

Olbers schätzte im Jahre 1803 die Lichtstärke des Saturn, dessen Ring damals gerade verschwunden war, zur Zeit der Opposition gleich der von α canis minoris, eines Sternes, welcher unter den Sternen 1ster Grösse gerade die mittlere Helligkeit hat.

Stampfer hat nun versucht, die photometrische Vergleichung der kleinen Planeten (Asteroiden) zur Ermittlung ihres wahren Durchmessers zu benutzen (Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der Wiener Akademie, 7. Band, S. 756). In etwas veränderter Form ist Folgendes der Gang der Entwicklung.

Sind r und ρ die Entfernungen eines Planeten von der Sonne und von der Erde zur Zeit der Opposition, d sein wirklicher Durchmesser, so wird seine Lichtstärke oder seine Helligkeit H ausgedrückt durch

$$H = A \frac{d^2}{r^2 \varrho^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

wo A ein constanter Factor ist, welcher von der Fähigkeit des Planeten die Sonnenstrahlen zu reflectiren, abhängt.

Aus einer Vergleichung der Lichtstärke und des scheinbaren Durchmessers der Planeten Jupiter, Saturn und Uranus hat sich ergiebt, dass dieselben nahezu gleiches Vermögen besitzen, die Sonnenstrahlen reflectiren oder mit anderen Worten, dass der Factor A für diese Planeten nahezu gleichen Werth hat. Für den Mars ist der Werth A kleiner.

Nehmen wir nun an, was höchst wahrscheinlich ist, dass das Reflexionsvermögen der kleinen Planeten dem des Jupiter und Saturn gleich ist, dass also der Factor A für sie denselben Werth habe wie für Saturn, so haben wir für einen solchen kleinen Planeten

$$H_1 = A \frac{d_1^2}{r_1^2 \varrho_1^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

wenn H_1 die Helligkeit eines der kleinen Planeten, d_1 seinen Durchmesser, r_1 seinen mittleren Abstand von der Sonne und ϱ_1 seine Entfernung von der Erde zur Zeit seiner Opposition bezeichnet.

Nehmen wir die Lichtstärke des Saturn zur Zeit der Opposition als Einheit, so geht Gl. 1) über in

$$1 = A \frac{d^2}{r^2 \varrho^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Wenn einer der kleinen Planeten zur Zeit der Opposition als Stern einer bestimmten Grösse erscheint, so ist für ihn

$$\frac{1}{a^{n-1}} = A \frac{d_1^2}{r_1^2 \varrho_1^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

aus der Combination der Gleichungen 3) und 4) ergibt sich aber

$$d_1 = \frac{d \cdot r_1 \cdot \varrho_1}{r \cdot \varrho \cdot \sqrt{a^{n-1}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Sind nun, wie es wirklich der Fall ist, alle übrigen Grössen in der Gleichung bekannt, so lässt sich nach derselben d_1 , d. h. der Durchmesser des kleinen Planeten, berechnen.

Für Saturn ist

$$d = 16305 \text{ Meilen}$$

$$r = 9.393 \text{ Erdweiten}$$

$$\varrho = 8.393 \quad "$$

Für die kleinen Planeten ist im Mittel

$$r_1 = 2.54 \text{ Erdweiten}$$

$$\varrho_1 = 1.54 \quad "$$

Der Werth von a ist, wie wir oben gesehen haben, gleich 2,519. Setzt man diese Zahlenwerthe in Gl. 5), so ergibt sich für einen kleinen Planeten, welcher zur Zeit der Opposition als ein Stern 7ter Grösse erscheint,

$$d_1 = \frac{16305 \cdot 2,54 \cdot 1,54}{9,393 \cdot 8,393 \sqrt{2,519^6}} = 47,5 \text{ Meilen.}$$

In gleicher Weise ergeben sich für Asteroiden, welche zur Zeit der Opposition als Sterne der Grössenklasse erscheinen, welche in der ersten Helligkeitsreihe der folgenden Tabelle eingetragen ist, die nebenbei stehenden Werthe des wahren Durchmessers

Grössen- klasse	Wahrer Durchmesser	Scheinbarer Durchmesser
7	47,5 Meilen	0,308 Secunden
8	29,7 "	0,192 "
9	18,5 "	0,120 "
10	11,6 "	0,075 "
11	7,2 "	0,047 "
12	4,5 "	0,030 "

Bei Berechnung dieser Tabelle ist der mittlere Abstand der kleinen Planeten von der Sonne für alle als gleich angenommen, was nur für eine erste rohe Annäherung angenommen werden kann. Wenn es sich um irgend einen bestimmten handelt, so sind die ihm entsprechenden Werthe von r_1 und ϱ_1 in Rechnung zu bringen. Für Ceres, welche zur Oppositionszeit als ein Stern 8ter Grösse erscheint, z. B. ist $r_1 = 2,77$, $\varrho_1 = 1,77$, woraus sich ergibt

$$d_1 = \frac{16000 \cdot 2,77 \cdot 1,77}{9,393 \cdot 8,393 \sqrt{2,519^7}} = 39 \text{ Meilen.}$$

Für Pallas ergibt sich auf diese Weise ein Durchmesser von 39 Meilen.

Victoria erscheint als ein Stern 10ter Grösse; für sie ist $r_1 = 2,33$, $\varrho_1 = 1,33$, und danach ergibt sich für dieselbe

$$d_1 = 9,8 \text{ Meilen.}$$

Wenn nun auch die so berechneten Werthe der Durchmesser der kleinen Planeten nicht auf grosse Genauigkeit Anspruch machen können, so sind die Helligkeitsbestimmungen als Schätzungswerthe selbst nur angebracht, wenn man selbst einen Fehler von 100 Procent in den berechneten Werthen von d_1 zugiebt, so ergibt sich doch unzweifelhaft, dass die Durchmesser der Ceres und der Pallas nicht 330 und 39 Meilen sein können, welche Grössen Schröter aus der Messung der scheinbaren Durchmesser abgeleitet hat. Wenn die beiden oben genannten Planetoiden wirklich die Durchmesser hätten, wie sie Schrö-

ter bestimmt hat, so müsste uns Ceres als ein Stern 3ter, Pallas als ein Stern 2ter Grösse erscheinen.

Uranus erscheint zur Zeit der Opposition als ein Stern von 6ter Grösse, wir können für ihn also $\mu = 5,8$ setzen; ferner ist für $r_1 = 19,18$, $\rho_1 = 18,18$, wonach sich nach Gleichung 5) ergibt

$$d_1 = 5688 \text{ Meilen,}$$

während sich aus der Messung des scheinbaren Durchmessers (4,12 cunden) ein Durchmesser von 7396 Meilen für Uranus ergibt.

126 Veränderliche Sterne. Der erste Stern, an welchem ein regelmässiger Wechsel der Lichtstärke beobachtet wurde, ist θ Ceti. Der Fabricius hatte ihn am 13. August 1596 als einen Stern dritter Grösse beobachtet und im October desselben Jahres verschwinden sehen; die periodische Veränderlichkeit dieses Sternes entdeckte aber Holwardt Professor zu Franeker, im Jahre 1639.

Der fragliche Stern, welcher dieser merkwürdigen Erscheinungen auch Mira Ceti genannt wurde, erreicht manchmal den Glanz eines Sternes zweiter Grösse; seine Helligkeit nimmt aber dann wieder ab, dass er für das blosse Auge vollständig verschwindet. Mit Fernrohr ist er zur Zeit seines Lichtminimums schon als ein Stern elfter bis zehnter Grösse beobachtet worden, so dass es nicht ganz ausgemacht ist, ob er immer ganz verschwindet. Das Maximum seines Lichtglanzes erreicht er ebenfalls nicht immer dieselbe Grösse; während er manchmal, wie bemerkt wurde, die Helligkeit eines Sternes zweiter Grösse erreicht, er oft auch zur Zeit seines Maximums nur noch einem Stern vierter Grösse gleich.

Die Periode, in welcher Mira Ceti den ganzen Cyclus der erwähnten Veränderungen durchläuft, dauert 331 Tage 20 Stunden. Im Maximum dauert die Zeit der Lichtzunahme von der sechsten Grösse bis zum Maximum 50 Tage, die der Lichtabnahme vom Maximum bis zur sechsten Grösse 69 Tage, so dass der Stern ungefähr 4 Monate mit blossen Augen sichtbar bleibt. Zuweilen hat diese Sichtbarkeit sich auf 5 Monate steigert, während sie zu anderen Zeiten nur 3 Monate gewesen ist. Ebenso ist auch die Dauer der Zu- und Abnahme des Lichtes grossen Schwankungen unterworfen.

Im Jahre 1669 erkannte Montanari die Veränderlichkeit des β Persei (Algol am Medusenhaupt), der unter allen veränderlichen Sternen die kürzeste Periode zeigt: denn diese beträgt nur 28 Tage 20 Stunden 49 Minuten, also nahezu 69 Stunden. In dieser Periode ist er Stern 2ter Grösse, etwa 3½ Stunden braucht er um von der 4ten Grösse abzunehmen und ungefähr eben so viel Zeit um seinen gewöhnlichen Glanz wieder zu erlangen. Das Minimum seiner Lichtstärke dauert nur 15 Minuten.

Bis jetzt hat man 24 Sterne als periodisch veränderlich erkannt. Die folgende kleine Tabelle veränderlicher Sterne ist ein Auszug aus

elander entworfenen, welche Humboldt im dritten Bande des S. 243 mittheilt.

hnung des ernes.	Dauer der Periode.			Helligkeit im	
				Maximum.	Minimum.
	Tage.	Stunden.	Minuten.	Grösse.	Grösse.
.	331	20	—	4 bis 2,1	0
.	2	20	49	2,3	4
.	406	1	30	6,7 „ 4	0
e	7	4	14	3,4	5,4
.	12	21	45	3,4	4,5
lis	66	8	—	3	3,4
peiae	79	3	—	2	3,2
s	196	0	—	1	1,2

Zwischenstufen zwischen erster und zweiter, zweiter und dritter . s. w. sind in dieser Tabelle durch Decimalbrüche bezeichnet.

Erklärung des eben besprochenen Phänomens hat Zöllner die ausgesprochen, dass sich in dem Lichtwechsel der Veränderlichen nur geprägte Sonnenfleckperiode dieser entfernten Himmels-errathe. Das Phänomen der Sonnenfleck und das der Ver-keit der Sterne sind nach dieser Theorie nur quantitativ, alitativ verschiedene Erscheinungen. Haben die relativ dunk-m, die kurz mit dem Namen „Schlacken“ belegt werden mögen, weiter vorgeschrittener Abkühlung eines Weltkörpers an ang und dadurch auch an Stabilität gewonnen, so muss ein mit dunklen Stellen bedeckter und rotirender Fixstern im Allge-las Phänomen eines Veränderlichen zeigen.

merkwürdige Umstand, dass beim Algol das Minimum nur ten dauert, hat schon längst auf die Vermuthung geführt, dass , durch einen dunklen Trabanten veranlasste, für uns ring-Verfinsterung des Algol vorliege. Den Einwand, dass ein Tra- den Dimensionen einer Sonne nicht wohl eine Bahn von len Umlaufszeit haben könne, widerlegt Klinkerfues dadurch, lie mittlere Entfernung zweier Körper berechnet, deren jeder e unserer Sonne hat, und welche den Umlauf um ihren gemein-en Schwerpunkt in 69 Stunden vollenden. Es ergibt sich ein von 1 300 000 geographischen Meilen; die gesuchte mittlere ng bleibt also immer noch das 14fache des Sonnenhalbmessers.

ähnliche Art lässt sich auch der Lichtwechsel von β Lyrae,

η aquilae, überhaupt der meisten gut untersuchten Veränderlich klären, nämlich durch die Hypothese, dass es sehr enge Doppelsterne sind. Es ist dabei weder nöthig, dass die umkreisende Masse eine dunkle sei, noch auch, dass immer ein centraler Vorübergeher eine Scheibe vor der anderen stattfindet.

127 Temporäre Sterne. Manchmal erscheinen plötzlich neue Sterne am Himmel, welche kurze Zeit glänzen, um alsbald wieder zu verschwinden. So erschien im Jahre 389 ein neuer Stern nahe bei α Cassiopeja, welcher mit der Helligkeit der Venus aufloderte und nach drei Wochen spurlos verschwand.

In der ersten Hälfte des neunten Jahrhunderts beobachteten arabische Astronomen einen neuen Stern im Scorpion, „den sie dem des Mondes in seinen Vierteln“ geglichen haben soll, und schon nach 4 Monaten wieder verschwand.

Der merkwürdigste unter den temporären Sternen ist der neue Stern von 1572, welchen auch Tycho de Brahe beobachtete. Er erschien am 11. November 1572 im Sternbilde der Cassiopeja; alsbald glänzend wie Sirius nahm die Lichtstärke des neuen Sternes noch zu, bis er selbst Jupiter an Helligkeit übertraf und selbst am Tage gesehen werden konnte. Im December 1572 begann sein Glanz abzunehmen und verschwand endlich im März 1574, 16 Monate nach seinem ersten Erscheinen. Er war blendend weiss, wurde er im März 1573 röthlich und im Januar 1574 wieder weiss.

Ein böhmischer Astronom, Cyprianus Leovitius, versicherte in einer handschriftlichen Chronik die Nachricht gefunden zu haben, dass im Jahre 945 sowohl als auch im Jahre 1264 zwischen den Constellationen des Cepheus und der Cassiopeja ganz nahe der Milchstrasse ein glänzender Stern erschienen sei; darauf gründet sich nun die Meinung einiger Astronomen, dass der schöne Stern ein periodischer sei und seine Periode 313 Jahre betrage. Wenn diese Ansicht richtig wäre, müsste der fragliche Stern im Jahre 1885 wieder erscheinen.

Im Jahre 1604 erschien ein neuer Stern im Ophiuchus, welcher die Helligkeit des Jupiter erreichte, aber dem Sterne von 1572 nicht ungleich kam und auch nicht bei Tage gesehen werden konnte. Dieser Stern wurde besonders von Kepler beobachtet. Er erschien im November 1604. Zu Anfang des Januar 1605 war er noch heller als Sirius, aber weniger hell als Arcturus; im März dieses Jahres war er nur dritter Grösse. Vier Monate lang konnte er wegen der Nähe der Sonne nicht beobachtet werden. Im März 1606 verschwand er spurlos.

Im Jahre 1848 beobachtete Hind einen neuen Stern fünfter Grösse ebenfalls im Ophiuchus. Nach Lichtenberger's Beobachtung war er im Jahre 1850 nur noch elfter Grösse und wahrscheinlich dem Verschwinden nahe.

Die temporären Sterne gehören zu den seltenen Erscheinungen

den letzten 2000 Jahren können deren kaum 20 bis 22 mit einiger Sicherheit aufgeführt werden.

Farbige Sterne. Ptolemäus führt in seinem Fixsternkataloge 128 röthliche Sterne an, nämlich Arcturus, Aldebaran, Pollux, Antares, Rigel und Sirius. Von diesen haben fünf noch jetzt ein röthliches Licht, während Sirius gegenwärtig vollkommen weiss ist.

Entschieden weiss sind, ausser Sirius, unter den helleren Sternen vorwiegend Wega, Deneb, Regulus und Spica. Gelbliches Licht haben Arcturus, Atair, der Polarstern und besonders β ursae minoris. Bläulich ist η lyrae.

Auch unter den Doppelsternen findet man viele farbige, und zwar sind die beiden Sterne gleichfarbig, bald haben sie verschiedene Farben.

So sind z. B. die beiden Sterne von γ virginis (3^m und 3^m) gelblich, ρ Herculis (4^m und 5^m) grünlich, von ξ ursae majoris (2^m und 4^m) dunkelgrün u. s. w.

Bei vielen anderen Doppelsternen zeigt sich dagegen eine merkliche Verschiedenheit der Farbe. So ist z. B. bei α ursae minoris der Hauptstern gelb, der Begleiter weiss; bei α piscium der grössere (3^m) grünlich, kleinere (4^m) blau; bei ξ Orionis der Hauptstern (2^m) roth, der Nebensterne (6^m) rothgelb; bei γ leonis ist der Hauptstern (2^m) goldgelb, der Nebensterne ($3,5^m$) röthlich; bei ϵ Bootis ist der Hauptstern (3^m) roth, der Begleiter (6^m) blau u. s. w.

Ein schöner dreifacher Stern ist γ Andromedae; der Hauptstern ist goldgelb, die beiden kaum $\frac{1}{2}$ Secunde von einander entfernten Begleiter sind bläulich violett.

Zöllner hat an seinem bereits auf Seite 317 besprochenen Astrometer noch eine weitere Vorrichtung angebracht, welche dazu dient, künstlichen Stern beliebig gefärbt erscheinen zu lassen, so dass er in Beziehung seiner Farbe dem zu beobachtenden natürlichen Sterne vollkommen gleich gemacht werden kann. Diese Vorrichtung, welche Zöllner Colorimeter nennt, ist in unserer Figur ganz weggelassen, denn überhaupt die ganze Partie zwischen r und x gewissermaassen Kleinheit des Maassstabes wegen nur schematisch dargestellt, keineswegs die Constructions- und Verbindungsweise der einzelnen Theile so zeigt, wie sie an dem Zöllner'schen Instrumente ausgeführt sind.

Der Colorimeter wird durch die Combination des Nicols p mit r senkrecht zur Axe geschnittenen Bergkrystallplatte und einem dritten Nicol gebildet. Die senkrecht zur Axe geschnittene 5^{mm} dicke Quarzplatte ist zunächst rechts von p angebracht und zwar so, dass ihre Längsachse gegen p unverändert bleibt; rechts von dieser Quarzplatte befindet sich dann das dritte Nicol. (Natürlich muss der Abstand von p zu x grösser sein als in unserer Figur, damit die Quarzplatte und das dritte Nicol zwischen p und x noch Platz finden.)

Wenn das dritte Nicol um seine Axe gedreht wird, während p seine

Stellung beibehält, so ändert sich die Farbe der Quarzplatte, welche durch entsprechende Drehung der des natürlichen Sternes gleichmässig sein kann. Die Drehung des dritten Nicols gegen den Nicol p kann an einem besonderen Theilkreis abgelesen werden. Wir müssen uns hier begnügen, Zweck und Construction des Colorimeters nur anzudeuten.

- 129 **Ansehen der Sterne mit blossen Auge und mit Fernrohre betrachtet.** Wenn man die Sterne mit unbewaffnetem Auge betrachtet, so erscheinen sie nicht als einfache helle Punkte, sondern sie erscheinen mit divergirenden Strahlen versehen, wodurch das Bild des Sterns eine ziemliche Ausdehnung erhält. Diese Strahlen sind es, welche verhindern, dass man neben Jupiter dessen Trabanten unterscheiden kann, welche gross und hell genug sind, um als stehende Sterne ohne Fernrohre sichtbar zu sein.

Dieser Umstand, dass das Bild der Sterne mit blossen Auge betrachtet durch divergirende Strahlen vergrössert erscheint, hat lange Zeit Zweifel seine Quelle im Auge des Beobachters; sphärische Aberration, Diffraction an den Rändern der Pupille oder an den Wimpern, die Verbreiterung des Lichteindrucks auf der Netzhaut von dem unmittelbar reizten Punkte aus wirken hier zusammen, um die besprochene Erscheinung hervorzubringen. Dass dieselbe subjectiver Natur ist, geht hervor, dass sie bei verschiedenen Personen oft sehr ungleich ist. In Folge der Sternstrahlung schrieb Kepler und Tycho dem Sirius einen Durchmesser von $4'$ und $2' 20''$ zu.

Durch Fernrohre wird das Bild der Fixsterne weit reiner, immer bleibt ihnen selbst bei den besten Instrumenten ein fiktiver Durchmesser. Dass dieser Durchmesser nicht der wahre Heliometerdurchmesser ist, unter welchem uns das Fernrohr den Stern zeigen sollte, geht daraus hervor, dass er bei wachsender Vergrösserung zunimmt, wie der Durchmesser der Planeten. Wenn man einen Stern durch Fernrohre betrachtet, so rücken die beiden Sterne weiter von einander weg, je stärker die angewandte Vergrösserung ist, während die Durchmesser der Sterne selbst bei wachsender Vergrösserung eher kleiner werden.

Bei gleicher Vergrösserung ist der falsche Durchmesser der Sterne, welchen die Fernrohre zeigen, um so kleiner, je grösser der Durchmesser des Objectivs ist.

Dass durch Fernrohre Sterne sichtbar werden, welche mit blossen Auge nicht sehen kann, ist demnach nicht sowohl eine Folge der Vergrösserung, als vielmehr des Umstandes, dass bei grosser Öffnung des Objectivs eine weit grössere Menge von Lichtstrahlen von dem Stern ins Auge gelangt, als ohne das Fernrohr durch die Pupillenöffnung hindurch gedrungen sein würde. Die raumdurchdringende Kraft der Fernrohre, vermöge deren man gewissermaassen weiter in die Himmelsweite vordringen und Sterne erblicken kann, die ohne Fernrohr unsichtbar sind.

ist also vorzugsweise durch die Grösse der Objectivöffnung be-

Verwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes 130

Erklärung. Um zu prüfen, ob das Licht des im Jahre 1819 entdeckten Kometen polarisirt sei oder nicht, wandte Arago ein achromatisches Kalkspathprisma, Fig. 182, an. Wenn man einen Fixstern durch dasselbe betrachtet, so sind die beiden Bilder stets vollkommen gleich, wie man das Prisma auch um seine Axe drehen mag; ein Beweis also, dass das Licht der Fixsterne nicht polarisirt ist. Schaut man dagegen durch das Prisma nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so findet man, dasselbe um seine Axe drehend, bald eine Stellung, bei der das eine Bild hell, das andere dunkel ist.



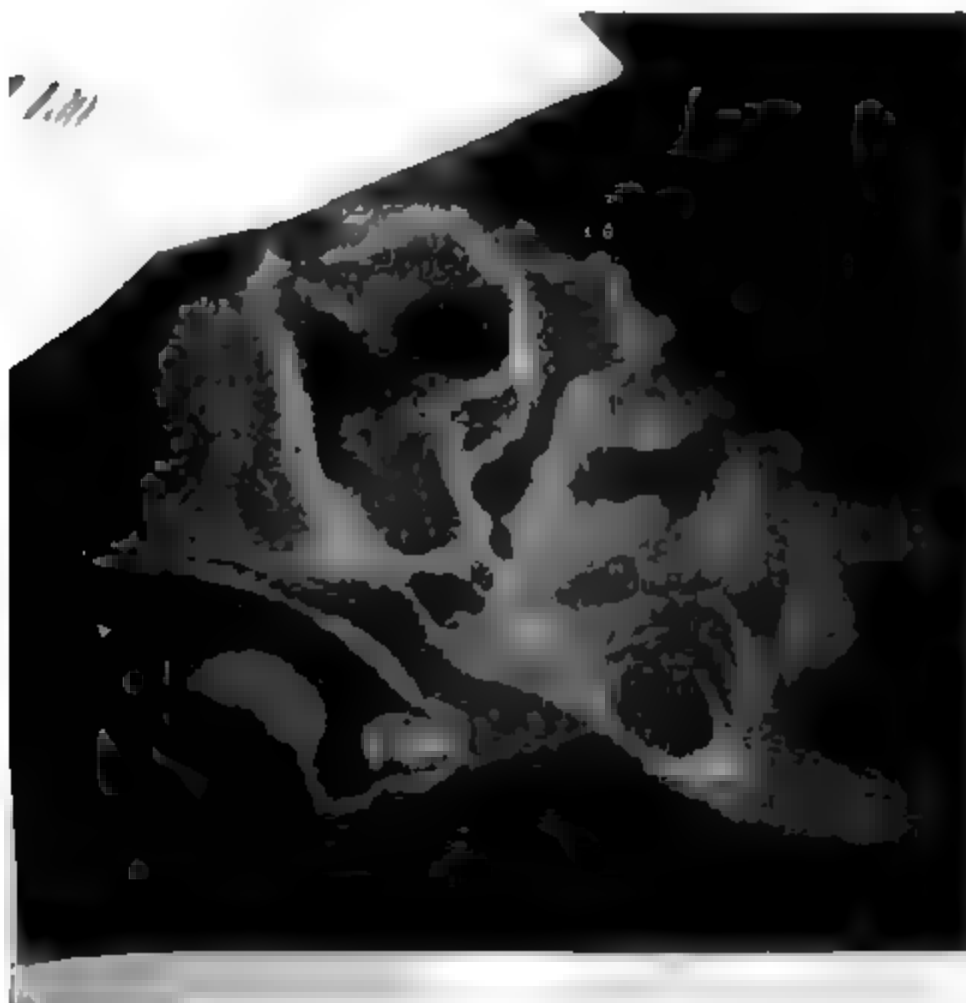
er verbesserte Arago die Vorrichtung dahin, dass er mit dem beschriebenen Prisma ein dünnes Gypsblättchen verband, welches an der dem Auge abgewandten Seite des Prismas so befestigt wird, dass die Ebene des Gypsblättchens einen Winkel von 45° mit der Ebene des Prismas macht (Lehrb. der Physik, 7. Aufl. S. 347). Schaut man nun durch das Prisma und das dünne Gypsblättchen nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so sieht man die beiden Bilder bei gehöriger Stellung des Prismas verschieden gefärbt, also je nach der Dicke des Blättchens roth und grün und gelb u. s. w.

Das verbesserte Instrument nennt Arago Polariskop. Arago's Beobachtungen mit dem Polariskop war das Licht des Donati'schen Kometen im Jahre 1835 polarisirt. Das Licht des Donati'schen Kometen (Herbst 1858) soll polarisirt gewesen sein. Mir ist es mit Hilfe eines Polariskops der oben beschriebenen Art, welches schon bei ganz schwach polarisirtem Lichte sehr entschiedene Spuren von Polarisation am Donati'schen Kometen wahrzunehmen.

Das Polariskop untersucht, zeigte die Sonne, wie sich erwarten lässt, keine Spur von Polarisation.

Man hat das Polariskop dadurch noch verbessert und empfindlicher gemacht, dass er zwei unter einem Winkel von 45° gegen die optische Achse gekreuzte Quarzplatten an die Stelle des Gypsblättchens setzte. Durch diese Vorrichtung nach irgend einer Lichtquelle hin, beobachtet man für den Fall, dass das Licht polarisirt ist, zwei geradlinige Farbenstreifen, welche um so brillanter erscheinen, je mehr die einfallenden Strahlen polarisirt sind; je unvollständiger die Polarisation ist, desto matter und schwächer erscheinen die Streifen (Lehrbuch, 7. Aufl. I. Bd. S. 884 u. 914).

entdeckte im Jahre 1612 den ersten Nebelfleck, Sterne ν der Andromeda stehenden, welcher und dessen Länge ungefähr $\frac{1}{2}$ Grad beträgt. Jahre 1656 den sehr unregelmässig gestalteten Nähe des Sternes ϵ im Wehrgehäng des Orion, sichfalls ohne Fernrohr unterscheiden kann. in Allem nur sechs Nebelflecken; durch Messier wurden 90 weitere bekannt, Hilfe seiner mächtigen Teleskope deren



die dieser Nebel haben eine durchaus unregelmässige Gestalt, dagegen zeigen eine regelmässige Anordnung, wie z. B. der von entdeckte Nebel in den Jagdhunden, Fig. 185 (a. f. S.). Ein ringförmiger Nebel, welcher Fig. 186 abgebildet ist, befindet sich zwischen den Sternen β und γ der Leier. Eine grosse Anzahl von Nebeln, welche Herschel entdeckte, sind oval und zeigen, Fig. 187, bei fast gleichförmiger Helligkeit eine scharfe Begrenzung; wegen ihrer Aehnlichkeit mit dem der durch starke Fernrohre betrachteten Planeten wurden sie als Entdecker planetarische Nebel genannt. Diese Nebel von gleicher äusserer Gestalt zeigen gegen ihre Mitte eine grössere Lichtstärke, und bei einigen ist die Concentration des

Wenn man den Vollmond mit dem Polariskop untersucht, so ~~man~~ keine Polarisation des Lichtes, was bei der Richtung, in ~~wo~~ für diesen Fall das von der Sonne kommende Licht vom Monde ~~refl~~ wird, nicht anders zu erwarten ist; dagegen soll sich das Mondlicht Zeit des ersten oder des letzten Viertels mit dem Polariskop ~~unter~~ als polarisirt erweisen. Jedenfalls ist diese Polarisation eine ~~aus~~ geringe.

- 131 **Milchstrasse, Nebelflecken und Sternhaufen.** Wenn bei vollkommen durchsichtiger Luft in einer mondfreien Nacht den ~~mel~~ betrachtet, so erblickt man auf dem schwarzblauen, mit ~~St~~ übersäeten Hintergrunde einen zarten weissen Nebelstreifen, ~~welch~~ unregelmässiger Begränzung mit wechselnder Breite durch ~~eine~~ Reihe von Sternbildern hindurchzieht. Man kann seinen Lauf ~~an~~ Sternkarten Tab. III. und Tab. IV. verfolgen. Er ~~zieht~~ ~~östlich~~ ~~vor~~ ~~aus~~ ~~vor~~ über, geht zwischen dem kleinen Hunde und Orion ~~hindurch~~ den Sternbildern des Schwans, des Adlers, des Ophiuchen ~~und~~ ~~des~~ pions, um endlich nach der Stelle wieder zurückzukehren, ~~an~~ ~~wo~~ wir ihn zuerst betrachtet haben.

Fig. 183



Dieser neblige Streifen, welcher den Namen der Milchstrasse bildet also einen zusammenhängenden Ring, welcher das ganze Himmelsgewölbe in zwei nicht ganz gleiche Theile scheidet. Vom Schwanz des Scorpions hinaus theilt sich die Milchstrasse in zwei neben einander herlaufende Streifen, welche einen dunklen freien Raum inselartig einschliessen.

Ausser dieser in günstigen Nächten leicht aufzufindenden und verfolgenden Milchstrasse zeigt sich aber am Himmelsgewölbe noch eine grosse Anzahl kleiner nebliger Flecken, von denen aber nur wenig z. B. der Nebelfleck in der Andromeda, durch sehr gute Augen oder Fernrohr wahrgenommen werden können, weshalb sie denn so leicht der Beobachtung ganz entgingen.

n Marinus entdeckte im Jahre 1612 den ersten Nebelfleck, n nahe bei dem Sterne ν der Andromeda stehenden, welcher abgebildet ist und dessen Länge ungefähr $\frac{1}{2}$ Grad beträgt. s entdeckte im Jahre 1656 den sehr unregelmässig gestalteten 184 in der Nähe des Sternes ϵ im Wehrgehäng des Orion, n gutes Auge gleichfalls ohne Fernrohr unterscheiden kann. nte im Jahre 1716 in Allem nur sechs Nebelflecken; durch n von Lacaille und Messier wurden 90 weitere bekannt, f. Herschel allein mit Hilfe seiner mächtigen Teleskope deren eckte.

Fig. 184.



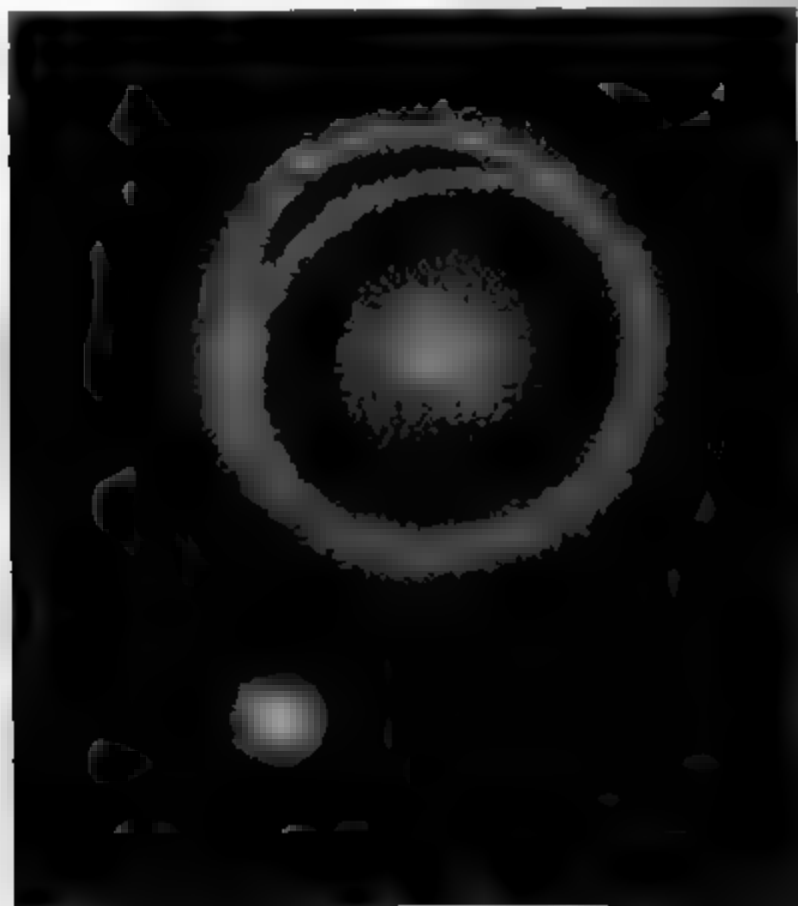
dieser Nebel haben eine durchaus unregelmässige Gestalt, an-
gen zeigen eine regelmässige Anordnung, wie z. B. der von
ntdeckte Nebel in den Jagdhunden, Fig. 185 (a. f. S.). Ein
ngförmiger Nebel, welcher Fig. 186 abgebildet ist, befindet
en den Sternen β und γ der Leier.

grosse Anzahl von Nebeln, welche Herschel entdeckte, sind
oval und zeigen, Fig. 187, bei fast gleichförmiger Helligkeit
ich scharfe Begränzung; wegen ihrer Aehnlichkeit mit dem
er durch starke Fernrohre betrachteten Planeten wurden sie
Entdeckern planetarische Nebel genannt.

e Nebel von gleicher äusserer Gestalt zeigen gegen ihre Mitte
rössere Lichtstärke, und bei einigen ist die Concentration des

Lichtes der Art, dass in der Mitte des Nebels ein heller Punkt, ein verschleiertes blassen oder selbst einem hellen Sterne ähnlich, erscheint wie Fig. 188 (a. f. S.); weshalb sie Nebelsterne genannt werden.

Fig. 185.



Manche Nebel enthalten zwei oder drei solcher heller Punkte, wie z. B. die Nebel Fig. 189 und 190, von denen sich der erstere im Sternbilde des Schützen, der letztere im Sternbilde des Fuhrmanns befindet.

Fig. 186.

Fig. 187.

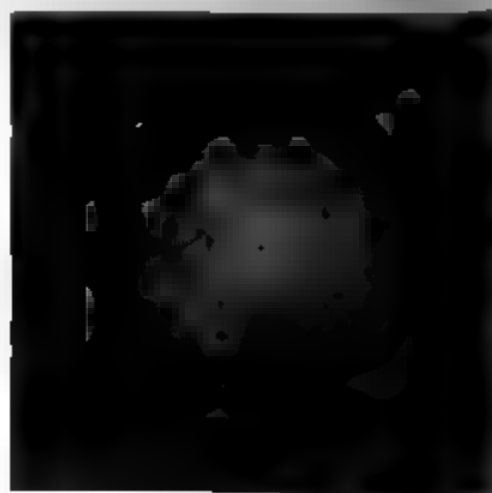


Fig. 191 stellt einen Doppelnebel dar, welcher sich ungefähr an der Gränze zwischen dem grossen Bären und dem Haar der Bereniz befindet.

den (Fig. 192 a. f. S.) erscheinen einem nicht ganz guten ein Nebel, während ein scharfes Auge hier 6 oder 7 ein-unterscheidet und man mit einem Fernrohr ihrer 50 bis Fig. 188.

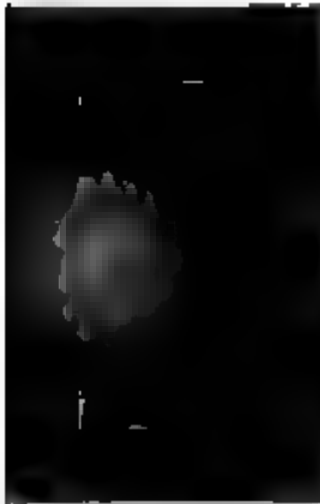


Fig. 189.

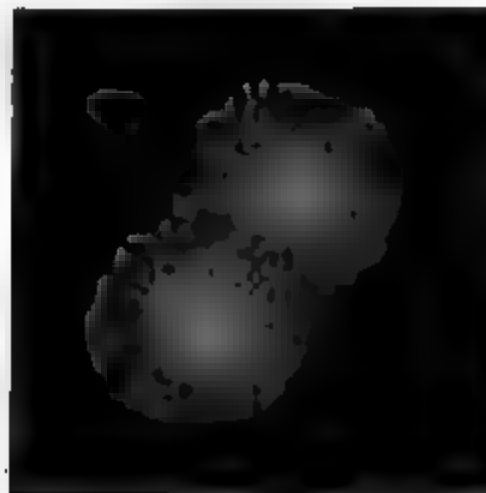


Ebenso sieht man oft durch stärkere Teleskope dicht stehende Sternhaufen, wo man durch schwächere Fernrohre nur wahrnehmen konnte.

Fig. 190.



Fig. 191.



rösserung, welche man zur Auflösung verschiedener Nebel eine nöthig hat, ist nicht immer die gleiche. Einige Nebel werden durch geringere, andere nur durch die stärksten Vergrößerung und die besten Instrumente aufgelöst. Fig. 193 stellt einen Nebel im Hercules dar, wie er durch sehr gute und stark vergrößernde Fernrohre gesehen wird.

Die Milchstrasse gehört zu den auflösbaren Nebeln; denn sie erscheint, wenn man sie durch gute Fernrohre betrachtet, aus zahllosen kleinen dichtgedrängten Sternen zusammengesetzt.

Wie uns die Milchstrasse erscheint, erklärt sich aus der Betrachtung der Sterne, aus welchen sie besteht, einen Ring bilden, in Fig. 185 abgebildeten ähnlich ist, und dass sich die Sterne und Planeten nahezu in der Mitte dieses Ringes befinden.

Obgleich durch Anwendung stets besserer Instrumente immer mehr Nebel aufgelöst wurden, so war doch nicht anzunehmen, dass alle Nebel aus einzelnen Sternen zusammengesetzt sind; sondern es schien vielmehr

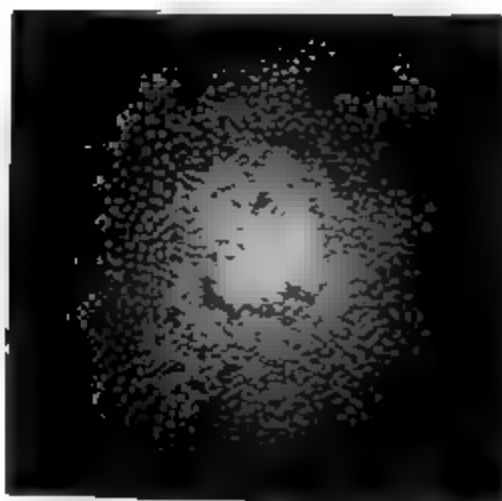
Fig. 192.



scheinlicher, dass viele der unauflösbaren Nebel wirklich aus einem diffusen nebelartigen Stoffe bestehen, so dass diese Nebel von ähnlicher Natur sind, wie die Kometen.

Für diese Ansicht, welche, wie wir später noch sehen werden, durch

Fig. 193.



die Spectralanalyse auf das Vollständigste bestätigt wird, spricht namentlich der Umstand, dass es Nebel giebt, welche eine Reihe von Zwischenstufen zwischen den planetarischen Nebeln und den Sternen bilden, d. h. Nebel, welche eine Reihe nach immer stärkere Concentration des Lichtes in der Mitte zeigen, was Herschel auf die Idee geführt hat, dass der diffuse Stoff, aus welchem die Nebel bestehen, sich nach und nach verdichtet und dass in Folge dieser Verdichtung Sterne entstehen.

Indem Laplace die Ideen Herschel's über die progressive Verdichtung der Nebel und ihre Umwandlung in Sterne adoptirte, und dieselben auf unser Planetensystem anwandte, gelang es ihm, die Bildung derselben auf eine sehr befriedigende Weise zu erklären.

Laplace nimmt an, dass ursprünglich die Sonne und alle Körper, die gegenwärtig um dieselbe rotiren, eine einzige, sich noch über jahn des äussersten Planeten hinaus erstreckende Nebelmasse bildete. Folge der fortschreitenden Erkaltung sind nun aber nach und nach wachsende Quantitäten dieser Nebelmasse in ihrem Centrum concentrirt worden, so dass sich ein Kern bildete, dessen Masse allmählig wuchs. War nun aber ursprünglich die Winkelgeschwindigkeit für alle um die Axe rotirenden Nebelpartien die gleiche, so musste die absolute Geschwindigkeit für die entfernteren Nebelmassen grösser sein, als die der Axe näher liegenden; wenn also eine von der Axe entferntere Masse in Folge ihrer Condensation auf den bereits gebildeten Centralkörper stürzt, so bringt sie ihre grössere absolute Geschwindigkeit mit bewirkt auf diese Weise, dass der Centralkörper nach und nach schneller rotirt als die übrige Nebelmasse. Die gegenseitige Reibung der inneren Parteien der Nebelmasse wird nun aber die Bewegung derselben beschleunigen, welche weniger schnell rotiren, dagegen eine Verlangsamung der schneller rotirenden bewirken, nach einer gewissen Zeit also die Winkelgeschwindigkeit der gesamten Masse jedenfalls grösser sein müssen als sie ursprünglich war.

In Folge der mit zunehmender Condensation immer zunehmenden Winkelgeschwindigkeit muss aber endlich ein Moment eintreten, in welchem die Centrifugalkraft der Nebeltheilchen, welche sich in der Nähe des Äquators der rotirenden Nebelmasse befinden, grösser wird als die, mit welcher sie gegen den Mittelpunkt der Nebelmasse gravitiren, werden sich von der übrigen Nebelmasse trennen, und einen abgetrennten Nebelring bilden, welcher nach derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit um den Mittelpunkt rotirt, welche er im Moment der Abtrennung hatte.

So lösen sich denn nach und nach mehrere Nebelringe von der Nebelmasse ab, welche im Mittelpunkte des ganzen Systems condensirt die Sonne bildet, während aus der Condensation der Nebelringe die Planeten hervorgehen.

Aus der Laplace'schen Hypothese über die Bildung unseres Planetensystems erklärt sich nun auch, dass alle Planeten in der gleichen Richtung um die Sonne laufen. Ein in und mit unserem Planetensystem gebildeter Körper kann unmöglich eine rückläufige Bewegung haben. Es sind aber viele Kometen sowohl wie auch Meteorite rückläufig, was klar, dass dieselben ursprünglich unserem Planetensysteme fremd, ausserhalb desselben her in dasselbe eingedrungen sind.

Schiaparelli spricht sich über die Art, wie er sich die Bildung interplanetarischer Wolken denkt, welche in das Sonnensystem eingedrungen mit der Erde zusammentreffend als Sternschnuppen erscheinen, und zwar in folgender Weise aus: „Eine glühende Gasmasse von sehr bedeutenden Dimensionen und sphärisch abgerundeter Gestalt wird, wie wir sie gesehen haben, bei ihrer allmählichen Abkühlung und Conden-

sation einen Fixstern bilden, welcher, etwa wie unsere Sonne, noch von einem Planetensystem umgeben sein kann. Eine solche Gasmasse aber, von geringeren Dimensionen und unregelmässig verzweigter Form, wird an ihren hervorragenden und vom Mittelpunkte entfernteren Partien eine raschere Abkühlung erfahren, wobei sich dann viele, ja unzählige isolirte kleine Concentrationskerne bilden. Tritt eine solche Concentration auf der Oberfläche ein, während der Centralkörper sich noch in Gasform befindet, so wird ein solches System, von der Sonne angezogen, einen Kometen liefern, welcher von einem Meteorstrom begleitet ist; erfolgt aber die Condensation in gleicher Weise durch die ganze Masse hindurch, so bildet sich eine kosmische Wolke, welche einen Sternschnuppenstrom ohne Kometen erzeugt.

Wenn nun eine solche, aus unzählig vielen kleinen Körperchen bestehende kosmische Wolke in die Anziehungssphäre der Sonne gelangt, so wird sie in eine parabolische Strömung verwandelt, die Jahre, Jahrhunderte, Jahrtausende brauchen kann, um einen Strom von verhältnissmässig geringer Breite bildend, Stück für Stück durch das Perihelion zu gehen. Von den zahlreichen Meteorschwärmen, welche auf diese Weise in unser Sonnensystem gelangen, werden uns nur diejenigen sichtbar, welche auf ihrer Bahn mit der Erde zusammenstossen“.

Die in parabolischer Bahn sich bewegendenden Meteorite kehren nach ihrem Durchgang durch das Perihelion in den Weltraum zurück. Unter Umständen kann aber ein Theil eines in parabolischer Bahn laufenden Meteoritenstromes durch den störenden Einfluss eines Planeten von bedeutender Masse in eine elliptische Bahn geworfen werden, wie dies nach Leverrier's Ansicht für den Novemberschwarm durch den Uranus geschah, dessen Bahn dem Aphelion und dem aufsteigenden Knoten der Leonidenbahn sehr nahe liegt (Vergl. Fig. 157, Seite 247).

132 Die Spectra der Fixsterne und der Nebelflecken. Fraunhofer, der Entdecker der dunklen Linien im Sonnenspectrum, hat auch bereits die Spectra einiger Planeten und Fixsterne untersucht. Bei den ersten der hierher gehörigen Versuche (Gilb. Ann. LVI, 308) fiel das vom Spiegel des Heliostats reflectirte Sternlicht auf das vor dem Thorolith-Fernrohr aufgestellte Prisma, ohne erst durch eine enge Oeffnung gegangen zu sein. Um dem Sternspectrum einige Breite zu geben, wie sie zur Beobachtung der dunklen Linien nöthig ist, setzte Fraunhofer vor das Objectiv des Fernrohrs (13''' Durchmesser) noch eine Cylinderlinse von grosser Brennweite, deren Axe rechtwinklig zur brechenden Kante des Prismas gestellt war.

Mit dieser Vorrichtung erkannte Fraunhofer im Spectrum der Venus die Linien *D*, *E*, *b* und *F*. Im Spectrum des Sirius beobachtete er drei dunkle Streifen im Grün und Blau, welche mit denen des Sonnenlichtes keine Aehnlichkeit zu haben schienen.

Später (Gilb. Ann. LXXIV, 375) wandte Fraunhofer zur Beobach-

der Sternspectra ein grösseres Fernrohr an, dessen Objectiv 4 Zoll Durchmesser hatte. Vor diesem Objectiv wurde ein Flintglasprisma angebracht, dessen Flächen noch grösser waren, als die Oberfläche des Objectivs. Der brechende Winkel dieses Prismas betrug $37^{\circ} 40'$ und es ergab sich als Minimum eine Ablenkung von ungefähr 26° hervor. Es wurde nun ein zweites kleines Fernrohr mit dem grossen in der Weise verbunden, dass die Axen beider Fernrohre einen Winkel von 26° mit einander machten, und dass, wenn das kleine Fernrohr direct auf den zu beobachtenden Stern gerichtet war, im grossen Fernrohr das durch das Prisma erzeugte Spectrum desselben beobachtet werden konnte. Durch diese Vorrichtung wurden im Wesentlichen die schon früher gemachten Beobachtungen bestätigt.

Durch Kirchhoff's Entdeckung in Betreff des Ursprungs der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum haben nun auch die Spectra der Sterne ein erhöhtes Interesse gewonnen, und in Folge dessen sind sie der Gegenstand neuerer und eingehenderer Untersuchungen geworden, welche hauptsächlich durch Huggins und Miller in England, und durch Secchi in Rom ausgeführt wurden. Bei allen neueren Apparaten, welche zur Beobachtung der Fixsternspectra angewandt wurden, sind die analysirenden Prismen nicht vor dem Objectiv des Fernrohres, sondern am Ocularende desselben angebracht.

Wenden wir uns zunächst zu den Untersuchungen von Huggins und Miller. Das von ihnen benutzte, parallaktisch aufgestellte und durch ein Uhrwerk bewegte Fernrohr hat ein Objectiv von 8 Zoll Durchmesser. An das Ocularende desselben ist ein Rohr *C*, Fig. 194, angebracht, in welchem das einerseits durch die Cylinderlinse *a* geschlossene Rohr *B* etwas hin- und hergeschoben werden kann. Die Cylinderlinse hat 14 Zoll Brennweite und ihre Axe steht rechtwinklig zu den schneidenden Kanten der analysirenden Prismen.

Etwas hinter *a* befindet sich das Rohr *D*. Sein vorderes, gegen 1 Zoll von *a* entferntes Ende ist bis auf einen engen, mit der breiten Kante der Prismen parallelen Spalt geschlossen, welcher sich im Mittelpunkt der das andere Ende des Rohres *D* schliessenden Collimatorlinse *g* (4,7" Brennweite) befindet.

Die vom Spalt aus divergirenden, durch die Linse *g* parallel gehenden Strahlen werden endlich, nachdem sie noch die Flintglasprismen durchlaufen sind (60° brechender Winkel) durch das kleine Fernrohr *F* (von 5,7facher Vergrösserung) beobachtet.

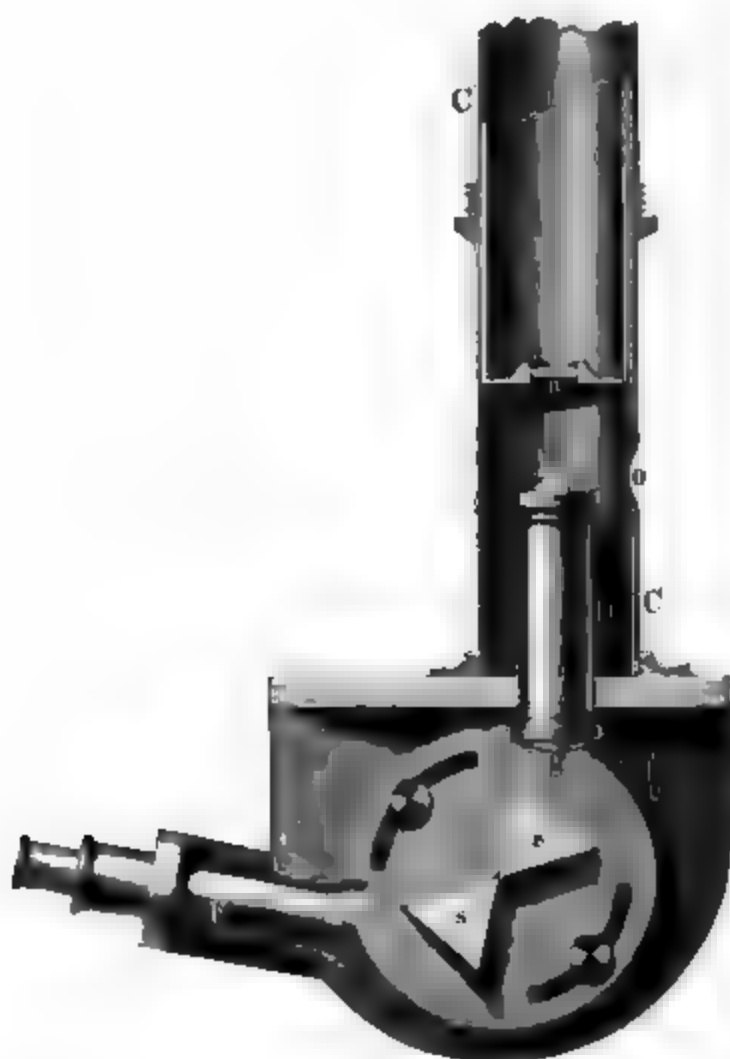
Das Fernrohr *F* ist übrigens nicht fest, wie es der Einfachheit halber in Fig. 193 gezeichnet ist, sondern es kann in einer zur brechenden Kante der Prismen rechtwinkligen Ebene mittelst einer Mikrometer-Schraube gedreht werden.

Um das Spectrum der Gestirne mit dem farbiger Flammen oder elektrischer Funken vergleichen zu können, ist die Hälfte des Spaltes am vorderen Ende des Rohres *D* durch ein rechtwinkliges Prisma *p* ge-

geschlossen, welches mittelst totaler Reflexion die durch die Oeffnung c der fraglichen Lichtquelle einfallenden Strahlen in die gleiche Richtung wie die vom Stern kommenden Strahlen bringt, so dass man das Centrum des Sternes unmittelbar über dem jener Lichtquelle erhält.

Für die Beobachtung lichtschwacher Objecte, wie z. B. der Flecken, wurde nur ein analysirendes Prisma in Anwendung gebracht.

Fig. 194.



Solche Objecte, welche im Fernrohr merkliche Dimensionen wie der Mond, die Planeten und Nebelflecke, sind ohne die cylindrische Linse a beobachtet worden.

Wenn es sich nur um die Beobachtung der Fixsternspectra nicht um die Vergleichung derselben mit dem Spectrum irdischer Quellen handelt, kann man das Rohr D mit dem Spalt, dem Prisma und der Collimatorlinse g weglassen.

Die mit diesem Apparat erzielten Resultate sind im Wesentlichen folgende.

Da Mond und Planeten nur mit reflectirtem Sonnenlicht leuchten, so können sie auch nur ein durch ihre Atmosphäre modificirtes Spectrum zeigen. Im Spectrum des Mondes hat man kein Anzeichen einer Mondatmosphäre wahrnehmen können. Das Jupiters-Spectrum zeigt Absorptionsstreifen, welche zum Theil mit denen der Erdatmosphäre übereinstimmen.

ammenfallen, zum Theil aber auch der Erdatmosphäre ganz fremd welche also anzeigen, dass in der Atmosphäre des Jupiter Gase und pfe vorkommen, welche in der Erdatmosphäre fehlen. Das schwache trum des Saturn ist dem des Jupiter ähnlich. Im Spectrum des s zeigen sich bemerkenswerthe Liniengruppen im brechbarsten Theile Spectrums. Im Spectrum der Venus hat man, obgleich es sehr end ist und die Fraunhofer'schen Linien sehr deutlich zeigt, besondere Linien entdecken können, welche die Anwesenheit einer sphäre verriethen. Das Fehlen solcher Linien kann hier dem Um-e zugeschrieben werden, dass das Licht nicht von der Oberfläche Planeten, sondern durch Wolken reflectirt wird, welche in einer ge-n Höhe über der Oberfläche schweben.

Die Fixsterne geben uns, obgleich sie entfernter und von geringerem e sind, als der Mond und die Planeten, doch vollständigere An-en ihrer innersten Natur, weil sie selbstleuchtende Körper sind. Vergleichen der Fixsternspectra mit den Spectren verschiedener lischer Elemente macht es nun möglich, zu ermitteln, welche Stoffe mpfförmigem Zustande in ihrer Atmosphäre enthalten sind (Lehr-7. Aufl. I.).

Im Spectrum des Aldebaran finden sich die dunklen Linien *C* und durch die Gegenwart von Wasserstoff, und die Linie *D*, wodurch egenwart von Natrium nachgewiesen ist. Ferner ist durch die chtung der entsprechenden dunklen Linien für Aldebaran die Ge-urt von Magnesium, Calcium, Eisen, Wismuth, Tellur, Antimon uecksilber nachgewiesen; dagegen fehlen im Spectrum dieses Fix-die dunklen Linien des Stickstoffs, des Kobalts, des Bleies, des s u. s. w.

Im Spectrum von α Orionis (Betgeuze) kommen die dunklen Linien welche die Gegenwart von Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen und uth constatiren, dagegen fehlen die Wasserstofflinien, ferner die n für Stickstoff, Zinn, Barium, Silber, Cadmium u. s. w. Das Feh-ler Wasserstofflinien *C* und *F'* im Spectrum dieses und anderer erne beweist, dass diese Linien nicht von dem Wasserdampfe unserer tmosphäre herrühren können.

In gleicher Weise haben Huggins und Miller noch etwa 60 andere is untersucht, und gefunden, dass alle, wenigstens einige, der Sonne der Erde gemeinschaftliche Elemente enthalten. So enthält β Pe-Natrium, Magnesium und wahrscheinlich Barium.

Sirius enthält Natrium, Magnesium, Eisen und Wasserstoff.

Wega und Pollux (β geminorum) enthalten Natrium, Magnesium Eisen.

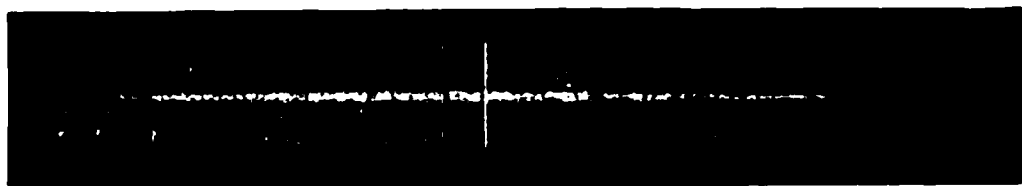
Also überall Natrium und Magnesium.

Während in dem Spectrum weisser Sterne, z. B. dem des Sirius, dunklen Linien ziemlich gleichförmig über das ganze Spectrum ver-ht erscheinen, treten bei farbigen Sternen dichte Gruppen dunkler

Linien, Schattenparthieen bildend, in demjenigen Theile des Spectrums, dessen Licht in der Färbung des Sternes zurücktritt, also im Roth und Orange bei den bläulichen Sternen, im Blau bei den gelben röthlichen.

Ein höchst überraschendes Resultat ergab sich, als Huggins August 1864 das Spectrum eines kleinen aber verhältnissmässig glänzenden Nebelflecks (37 H IV im Drachen) beobachtete. Er fand es nicht etwa dem Spectrum der Fixsterne, sondern dem glühenden Gase aus drei hellen Linien bestehend, Fig. 195, von denen die hellste

Fig. 195.



unserer Figur die Linie rechts) mit der intensivsten aus der Gruppe für Stickstoff charakteristischen Linien, die schwächste aber (die links) mit der Linie *F* des Wasserstoffspectrums zusammenfällt. Die mittlere der drei hellen Linien, welche das Spectrum dieses Nebels bilden, hat keine entsprechende unter den hellen Linien der 30 irdischen Elemente, welche damit verglichen wurden.

Diese Beobachtung beweist, dass der fragliche Nebelfleck nicht ein Haufen gesonderter Sterne, sondern dass er ein wirklicher Nebel ist. Ein derartiges Spectrum kann nicht von einem glühenden festen oder flüssigen, sondern nur von einem in gasförmigem Zustande glühenden Körper herrühren.

Ausser diesen hellen Linien sah man noch ein ausserordentlich schwaches continuirliches Spectrum, welches keine merkliche Ausdehnung in die Breite hatte, und welches auf die Existenz eines kleinen leuchtenden aber nicht gasförmigen Kernes hinweist.

Es ist klar, dass die Beobachtung solcher Objecte mit dem bloßen Auge wegen ihrer Lichtschwäche äusserst schwierig ist. Sie ist nur bei klarem Himmel und bei Abwesenheit des Mondes möglich.

In den Jahren 1865 und 1866 hat Huggins 60 Nebelflecke Sternhaufen untersucht; ungefähr $\frac{1}{3}$ derselben gaben ein dem obigen spectroscopischen ähnliches Spectrum, mit einer oder mit zwei oder mit drei hellen Linien. Zu den letzteren gehört auch der Nebel im Schwanz des Orion. Das Spectrum eines Nebelflecks (18 H IV) zeigt vier hellere Linien.

Alle wirklichen Sternhaufen, welche durch das Teleskop aufgelöst werden, geben ein Spectrum continuirlichem Ansehen und man ist berechtigt, anzunehmen, dass alle bis jetzt noch nicht aufgelösten Nebel, welche gleichfalls ein continuirliches Spectrum zeigen, wie z. B. der grosse Nebel der Andromeda, ebenfalls Sternhaufen sind.

Secchi in Rom wandte zur Untersuchung der Sternspectra Geraden-Spectroskope an, welche in Paragraph 134 näher besprochen werden sollen, da derselben in dem entsprechenden Abschnitt meines Lehrbuchs der Physik noch keine Erwähnung geschehen ist. Secchi seine Beobachtungen auf mehrere hundert Fixsterne, und zwar zu solchen siebenter Grösse ausgedehnt. Die beobachteten Spectra einander vergleichend, fand er, dass sie sich in drei Hauptgruppen theilen oder mit anderen Worten, dass sie sich auf drei Haupttypen zurückführen lassen und dass man häufig in derselben Gegend des Himmels auch Sterne desselben Typus findet.

Der erste Typus enthält die gelb oder roth gefärbten Sterne, wie β des Orion, α des Scorpion, ϕ des Pegasus u. s. w. In ihrem Spectrum zeigen sich breite dunkle Bänder, was darauf hindeutet, dass sie mit einer sehr dichten Atmosphäre umgeben sind.

Der zweite Typus umfasst die weissen und schwach gefärbten Sterne, deren Spectra, dem Sonnenspectrum ähnlich, feine scharfe dunkle Linien zeigen. In diese Classe gehören: Arcturus, α des grossen Bären, β des Adlers, Capella, Procyon u. s. w.

Zum dritten Typus endlich gehören die weissen und bläulichen Sterne, wie Sirius, Wega, α des Adlers u. s. w., bei welchen ausser den Linien, wie sie bei den Sternen des zweiten vorkommen, noch einige sehr breite Streifen vorkommen, von denen zwei mit den Wasserstofflinien H und F zusammenfallen, während manchmal im Violett noch eine dritte sehr dunkle Linie erscheint.

Eine merkwürdige Ausnahme bildet der Stern γ der Cassiopea, in welchem die Wasserstofflinie F als eine helle erscheint.

Ähnliches beobachteten Huggins und Miller an dem Stern T corone, welcher, vorher nur als Stern 9ter Grösse beobachtet, zu Anfang 1866 zu einem Stern 2ter Grösse aufleuchtete, um dann in zwölf Monaten wieder bis zur 8ten Grösse herabzusinken. Das Spectrum zeigte sich aus zwei übereinanderfallenden Spectren zusammengesetzt. Das erstere ist durch vier glänzende Linien gebildet, von denen die beiden äusseren dem Wasserstoff angehören, das zweite ist dem der Sonne analog. Das plötzliche Aufleuchten dieses Gestirns scheint darauf hinzudeuten, dass es der Sitz einer grossen, von ausserordentlicher Gasentwicklung begleiteten Katastrophe gewesen, dass es plötzlich von den flammenden Wasserstoffs umgeben worden sei.

Klinkerfues hält es für wahrscheinlich, dass die absorbirende Atmosphäre, welche die dunklen Linien des einen Spectrums erzeugt, ein anderes Centrum habe als die glühende, dass also T corone als ein Doppelstern zu betrachten sei.

Das Spectrum der Kometen. Zwei kleine Kometen, welche 1858 und 1867 erschienen, gaben nach Huggin's schwache continuirliche Spectra mit einzelnen hellen Linien. Genauer wurde im Jahre 1868

der viel hellere Brorsen'sche Komet untersucht, dessen in Fig. 196 dargestelltes Spectrum drei helle Streifen zeigte, deren mittelster am hellsten war. Dieser Beobachtung zufolge ist es wohl kaum zweifelhaft, dass

Fig. 196.

Sonnenspectrum.



Kohlenstoff. Funkenspectrum des Olivenöls



Kohlenstoff. Funkenspectrum des öföhlenden Gases



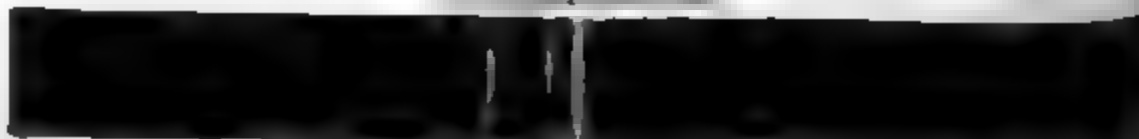
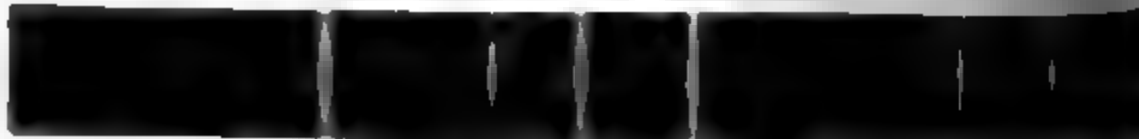
Kohlenstoff. Funkenspectrum des öföhlenden Gases



Kohlenstoff. Funkenspectrum des öföhlenden Gases



Kohlenstoff. Funkenspectrum des öföhlenden Gases



Es ist zu bemerken, dass die drei hellen Streifen im Spectrum des öföhlenden Gases, welche den Fraunhofer'schen Linien F, b, K entsprechen, sehr schwach sind, und dass die Linie D, welche dem Wasserstoff entspricht, sehr stark ist. Dies ist ein Zeichen dafür, dass das Gas, aus dem das Licht genommen wurde, sehr reich an Wasserstoff war.

Streifen des Brorsen'schen Kometen herrühren, ist noch nicht

untersucht spectroscopisch auch das Licht des Kometen
ecke, dessen teleskopische Erscheinung in Fig. 197 darge-
Das gleichfalls in Fig. 196 dargestellte Spectrum desselben
falls drei helle Streifen, welche nach dem rothen Ende des
in am glänzendsten waren und nach der anderen Seite hin
Fig. 197.



sich allmähig abschwächten. Der Lage
nach fielen aber die Lichtstreifen im Spec-
trum dieses Kometen (II. des Jahres 1868)
nicht mit denen des Brorsen'schen Ko-
meten zusammen, dagegen zeigten sie die
auffallendste Aehnlichkeit mit der in Fi-
gur 196 gleichfalls dargestellten Modifi-
cation des Kohlenstoffspectrums, welche
man erhält, wenn man den Inductions-
funken durch ölbildendes Gas schlagen
lässt. Nach diesem Ergebniss ist es wohl
kaum zweifelhaft, dass Kohlenstoff einen
Bestandtheil dieses Kometen bildet, wenn
es gleich noch gänzlich unbekannt ist, in
welchem Zustande dieses so schwerflüch-
tige Element hier vorkommt.

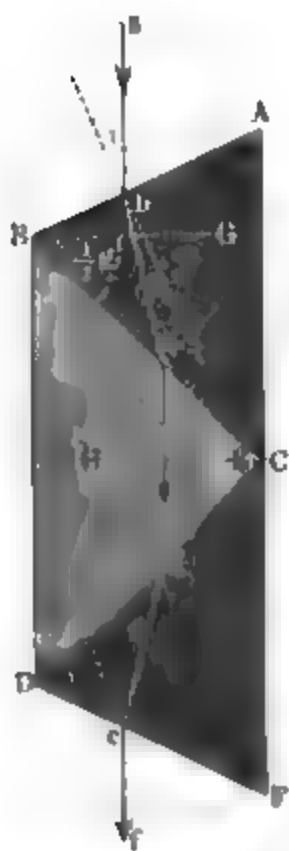
Spectralapparate ohne Ablen- 134

kung. Der Umstand, dass in den ge-
wöhnlichen Spectralapparaten die Licht-
strahlen durch die Prismen von ihrer ur-
sprünglichen Richtung abgelenkt werden,
erschwert in manchen Fällen allerdings
die Einstellung, weshalb man darauf
dachte, Prismenapparate zu construiren,
welche die prismatische Farben-
zerstreuung ohne Ablenkung der
mittleren (etwa der gelben) Strah-
len hervorbringen. Die hier zu lö-
sende Aufgabe ist also die umgekehrte
des Achromatismus, welche bekanntlich
darin besteht, durch Combination zweier

verschiedenem Zerstreungsvermögen die Farbenzerstreuung
während eine Ablenkung übrig bleibt. Der Erste, welcher
ausführen suchte, ist Amici, welcher bereits 1860 einen sol-
ten, ein spectroscope à vision directe, wie es die Franzosen
struirte. An ein gleichschenkliges Flintglasprisma BCD ,
(s. f. S.), dessen brechender Winkel bei C mit g bezeichnet

werden mag (bei dem Amici'schen Apparat war $g = 90^\circ$), sind beiden Seiten zwei einander gleiche Crownglasprismen ABC und CDF aufgekittet, deren brechender Winkel x so zu bestimmen

Fig. 198.



dass für Licht von mittlerer Brechbarkeit eintretende Strahl ab ebenso wie der aus tretende ef dem das Flintglasprisma symmetrisch durchlaufenden Strahl cd parallel sind.

Zur Berechnung von x haben wir zunächst folgende Gleichungen:

$$\sin i = n \cdot \sin r \quad . \quad . \quad .$$

und $n \cdot \sin i' = m \cdot \sin r'$

oder $n \cdot \sin i' = m \cdot \sin \frac{g}{2} \quad . \quad . \quad .$

da r' offenbar gleich $\frac{g}{2}$ ist. In diesen Gleichungen bezeichnet n den Brechungsindex des Crownglases, m den des Flintglases für fragliche Strahlenart. Da ab mit cd parallel sein und der letztere Strahl das Flintglasprisma symmetrisch durchlaufen soll, so stehen cd rechtwinklig auf der Linie HC , welche den brechenden Winkel bei C halbiert und rechtwinklig auf der mit ihr parallelen BG , aus folgt aber

$$i = x - \frac{1}{2} g;$$

ferner ist aber auch

$$i' = x - r \quad . \quad . \quad .$$

Setzt man in Gleichung 2) für $\frac{g}{2}$ seinen Zahlenwerth, so kann man den entsprechenden Zahlenwerth von i' berechnen. Da die Winkel r jedenfalls klein genug sind, so kann man ohne merklichen Fehler der Gleichung 1) setzen

$$i = nr$$

und wenn man für i seinen obigen Werth setzt

$$x - \frac{g}{2} = nr \quad . \quad . \quad .$$

combinirt man endlich die Gleichungen 3) und 4), so kommt

$$x = \frac{2nr - g}{n - 1} \quad . \quad . \quad .$$

Für $g = 90^\circ$, $m = 1,63$ und $n = 1,53$ (Brechungsindizes für Linie D) ergibt sich aus Gleichung 2)

$$\sin i' = 0,75317,$$

$$i' = 48^\circ 52' = 48,866^\circ$$

ich, wenn man diesen Werth von i' mit $g = 90$ und $n = 1,53$ (S. 5) setzt,

$$x = 55,9^\circ = 55^\circ 54'.$$

diesen Daten ausgeführte Prismencombination wird also die rothen Strahlen ohne Ablenkung durchlassen, während die blauen nach der einen Seite, die gelben nach der anderen Seite der gelben hin abgelenkt werden. Kurz der Apparat giebt ein Spectrum ohne Ablenkung der gelben Strahlen.

Man versteht sich von selbst, dass bei gleichem Werthe von g der Winkel x doch ein anderer werden muss, wenn man andere Glassorten, als diejenigen, auf welche sich die obige Berechnung bezieht, ein breiteres Spectrum zu erzielen, combinirte Janssen zwei Prismen mit drei Crownglasprismen in der durch Fig. 199 er-

199. Weise, so dass ein Crownglasprisma CDE in die Mitte des ganzen Systems zu stehen kam. Während die brechenden Winkel bei C , D und E gleich 90° waren, betrug jeder der Winkel x (natürlich für bestimmte Glassorten) 81° . Secchi bediente sich bei seinen Untersuchungen über das Licht der Gestirne einer solchen Combination, für welche die Winkeldistanz der Fraunhofer'schen Linien B und H $6^\circ 51'$, also fast doppelt so viel betrug, als für ein gewöhnliches Flintglasprisma, dessen brechender Winkel 60° beträgt.

Derartige Prismensysteme werden in ausgezeichnete Weise von Hofmann in Paris, von Merz in München und von Steinheil in München verfertigt.

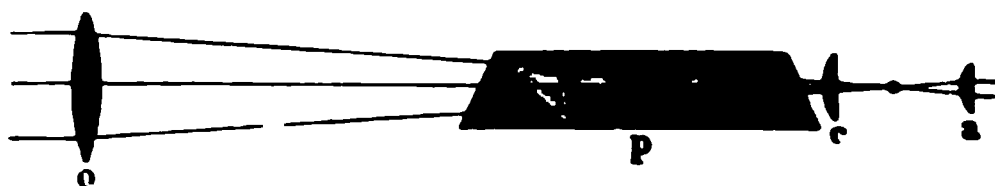
Um Sternspectra mittelst solchen Prismensystems zu untersuchen, werden dieselben entweder einfach zwischen dem Objectiv o des Fernrohrs und dem Collectivglas c desselben eingesetzt, wie Fig. 200 (a. f. S.) erläutert (a ist die Ocularlinse des Fernrohrs); es kann hier das Collectivglas c durch eine Cylinderlinse ersetzt werden, deren Axe rechtwinklig auf der Kante der Prismen steht, oder man bedient sich des zusammengesetzteren Arrangements, bei welchem die von dem Fernrohrobjectiv o , Fig. 201, kommenden Strahlen zunächst auf die Cylinderlinse c fallen, welche den Brennpunkt f des Objectivs in

Kante der Prismen parallele Brennlinie verwandelt. Die von f ausgehenden Strahlen werden durch die Collimatorlinse d parallel und nach ihrem Durchgang durch das Prismensystem p durch das Fernrohr beobachtet, dessen Objectiv h und dessen Ocular



Simmler hat die Farbenzerstreuung ohne Ablenkung dadurch vorgebracht, dass er die aus dem zerstreuenen Flintglasprisma tretenden Strahlen durch Reflexion wieder in die Einfallsrichtung

Fig. 200.



rückführt, und zwar wendet er zu diesem Zweck die totale Reflexion der Hypotenusenfläche eines rechtwinkligen Glasprismas an (Pogg. CXIX, 1863). Nach diesem Princip construiren Herrmann und Pfister in Bern Spectroskope ohne Ablenkung mit zwei zerstreuenen Flint- und zwei reflectirenden Crownglasprismen.

Fig. 201.

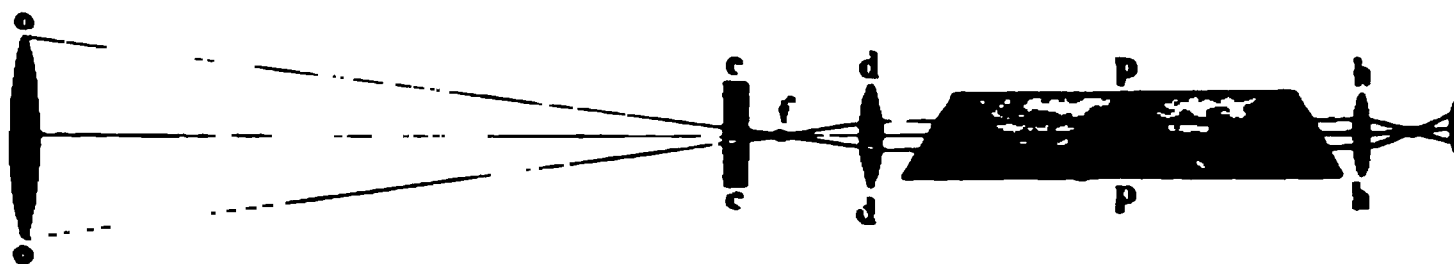


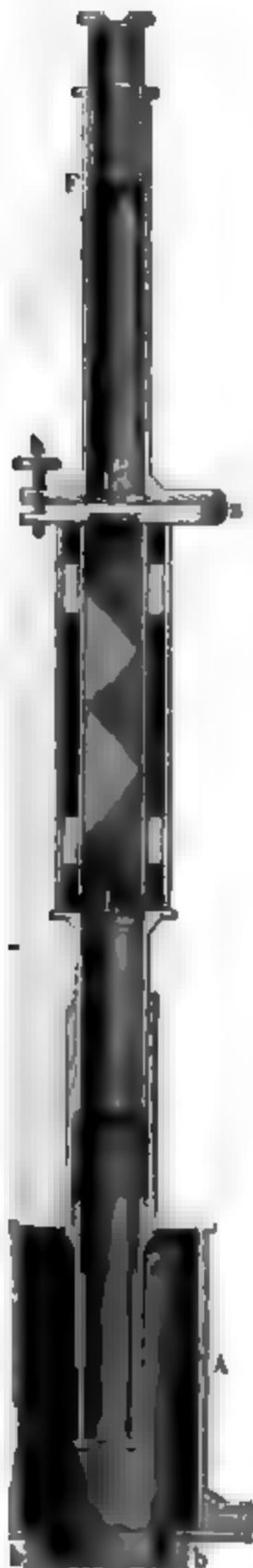
Fig. 202 stellt die spectroskopische Vorrichtung dar, deren Zöllner zu der in §. 121 besprochenen Beobachtung der Sonnen-Flammenlinien bediente, und welche mittelst des Schraubengewindes *bb* an Refractor angeschraubt wird (in *Fig.* der nat. Grösse). *s* ist der Spalt, welcher durch eine in der Figur weggelassene, von aussen her in die B. A. A. hineinragende Schraube enger und weiter gestellt werden kann. Das Rohr, an dessen Ende die Spalte *s* angebracht ist, kann durch gleichfalls in der Zeichnung weggelassene Schraube in der Richtung der Axe vor- und rückwärts geschoben werden, um es genau in den Brennpunkt der Collimatorlinse *L* (12^{te} Brennweite) zu bringen. Die parallel aus der Collimatorlinse austretenden Strahlen werden, nachdem sie durch das Prismensystem durchlaufen haben, durch die Okularröhre *F* beobachtet, deren vordere Linse *L* gleichfalls 12^{te} Brennweite hat. Um verschiedene Partien des Spectrums einstellen zu können, ist das Okularrohr *F* um den Zapfen *c* drehbar, so dass die Richtung seiner Axe mittelst Schraube *b* sein verstellt werden kann.

Das ganze Spectroskop kann um seine Axe drehen, während die mit dem Gewinde *b b* verbundenen Theile in unveränderter Lage Refractor bleiben.

Einfluss der räumlichen Bewegung der Sterne auf das Spectrum. Wenn wir uns vorstellen, dass eine Tonquelle sehr rasch hin- und hergeht, so wird das Ohr von den Vordrängungswellen, welche der tönen-

• aussendet, in rascherer Aufeinanderfolge getroffen werden, als die Entfernung zwischen Tonquelle und Beobachter unverändert der Ton muss also durch die rasche Annäherung für unser Ohr

Fig. 202.



erhöht werden. Umgekehrt muss der Ton erniedrigt werden, wenn die Entfernung zwischen Beobachter und Tonquelle rasch zunimmt.

Diese von Doppler entwickelte Consequenz ist durch Versuche auf Eisenbahnen, und zwar zuerst von Buys-Ballot auf das Vollständigste bestätigt worden.

Das oben angedeutete Princip ist aber für Lichtwellen eben so richtig, wie für Schallwellen, der Versuch Doppler's aber, daraus die Farben mancher Sterne zu erklären, hat den Beifall der Physiker nicht gefunden. Doppler meint nämlich, dass ein an und für sich weisser Stern bei rascher Annäherung gegen die Erde bläulich, bei rascher Entfernung dagegen röthlich erscheinen müsste.

Aber selbst wenn die gegenseitige Annäherung oder Entfernung zwischen einem Fixstern und der Erde von hinlänglicher Geschwindigkeit wäre, so liesse sich dadurch wohl eine Farbenveränderung monochromatischer, aber durchaus nicht eine Farbenveränderung weisser Lichtquellen erklären. Nehmen wir z. B. an, die Geschwindigkeit eines Sternes, welcher weisses Licht aussendet, sei gross genug, um sein Roth für uns in Orange, sein Orange in Gelb u. s. w., sein Violett in das unserem Gesichtssinne nicht wahrnehmbare Ultraviolett zu verwandeln, so würde das verschwundene Roth durch die Bewegung aus dem Ultraroth wieder hergestellt werden, das verwandelte Spectrum würde also wieder aus denselben Farben bestehen, wie das ursprüngliche, wir würden also ohne Prisma nach wie vor den Anblick eines weissen Sternes haben.

Wenn überhaupt eine relative Bewegung der Erde und der Fixsterne irgend einen Einfluss auf die Lichterscheinung der letzteren hat, so kann darüber nur die Spectralanalyse Aufschluss geben. Wenn bei hinreichend rascher Bewegung etwa das Gelb bei der Linie *D* in Grün verwandelt würde, da nur die Doppellinie *D* im Grün, statt im Gelb zum Vorschein

kommen, es müssten also alle dunklen Linien des Spectrums gegen violette Ende hin verschoben werden. Die ursprüngliche Lage Linien, wie sie der Geschwindigkeit Null entspricht, wird aber ein gleichzeitig beobachtetes irdisches Spectrum, z. B. durch das Natronflamme, gegeben.

Huggins hat nun mit einem weit stärkeren als dem oben benannten Apparate eine praktische Ausführung dieser Idee versucht, allerdings Andeutungen einer solchen Verschiebung, wenn auch keineswegs ein vollkommen sicheres Resultat erhalten. Es kann nicht auffallen, wenn man bedenkt, dass die Geschwindigkeit der Bewegung oder Entfernung zwischen der Erde und einem Fixstern graphische Meilen in der Secunde betragen müsste (die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn beträgt nicht ganz 5 Meilen), um die Fraunhofer'schen Linien nur um den Abstand der beiden *D*-Linien zu verschieben. Bei der Mehrzahl der Sterne wird man aber höchstens diese Geschwindigkeit erwarten dürfen.

Dass wirklich die Entfernung eines Sternes von der Erde um 43 Meilen in der Secunde zunehmen müsste, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden *D*-Linien zu bewirken, lässt sich aus folgender Betrachtung hervor. — Die Wellenlänge der breiteren *D*-Linie ist nach Angström 5889, die der anderen ist 5895 Millimeter. Die Geschwindigkeit des Lichtes, 42 000 Meilen in der Secunde, wie in einem der nächsten Paragraphen gezeigt werden soll, nun durch die Geschwindigkeit x , mit welcher sich die Erde vom Fixstern entfernt, im Verhältniss von 5889 zu 5895 vergrößert erscheint, eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden *D*-Linien zu bewirken; wir haben also

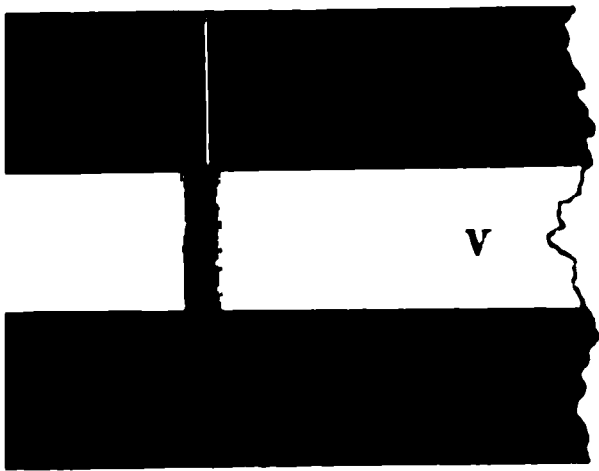
$$5889 : 5895 = 42\,000 : 42\,000 + x,$$

woraus sich $x = 43$ ergibt.

Das von Huggins erhaltene Resultat besteht übrigens in dem: Die *F*'-Linie des Siriuspectrums erscheint gegen die entsprechende helle Linie des Wasserstoffspectrums einer Geissler'schen Röhre in die Breite gezogen. Eine solche Verbreiterung zeigt übrigens die fragliche helle Linie des Wasserstoffspectrums, wenn der elektrische Funken nicht durch verdünntes Wasserstoffgas, sondern durch dichter hindurchschlägt, welches sich unter stärkerem Druck befindet; aber die scharfe helle Linie des verdünnten Wasserstoffgases tritt in der Mitte des hellen Streifens im Spectrum des dichteren Gases auf. Nicht so bei der breiteren *F*'-Linie des Siriuspectrums, in der That etwas gegen das rothe Ende des Spectrums hin verschoben erscheint, wie man in Figur 203 sieht. Huggins schätzt diese Verschiebung höchstens auf $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ des Abstandes der *D*-Linien, woraus zu schliessen wäre, dass die Entfernung zwischen der Erde und Sirius um ungefähr 10 geographische Meilen in der Secunde zunimmt, was einer Verlängerung der Wellenlänge um 0,15 Mi-

entspricht. Da aber zur Zeit, in welcher Huggins seine
ig machte, die Erde in ihrer Bahn sich um 3 Meilen in der
om Sirius weg bewegte, so bleibt noch eine Geschwindigkeit

Fig. 203.



von ungefähr 7 Meilen in der
Secunde übrig, mit welcher sich
Sirius von unserem Sonnensystem
entfernt.

Wenn überhaupt eine experi-
mentelle Lösung dieser Frage
möglich ist, so ist sie durch eine
äusserst sinnreiche Vorrichtung
zu erwarten, welche Zöllner zu
diesem Zweck ausgedacht hat und
welche er mit dem Namen eines

nsspectroskops bezeichnet. Bei diesem Instrumente sind
ci'sche Prismensysteme so zusammengestellt, wie Fig. 204
dass also die Farben im Spectrum des einen in entgegen-
Richtung auf einander folgen wie im Spectrum des anderen.
hier nicht näher zu beschreibende Vorrichtung kann nun be-

Fig. 204.



wirkt werden, dass das Spectrum, welches das
eine Prismensystem von einer entfernten Licht-
quelle entwirft, gerade über dem durch das
andere System erzeugten Spectrum derselben
Lichtquelle steht. Findet nun durch die oben
besprochene kosmische Bewegung eine Ver-
schiebung der Spectrallinien Statt, so müsste

dem einen Spectrum die entgegengesetzte Richtung haben
deren und deshalb leichter bemerkbar und messbar sein. Hätte

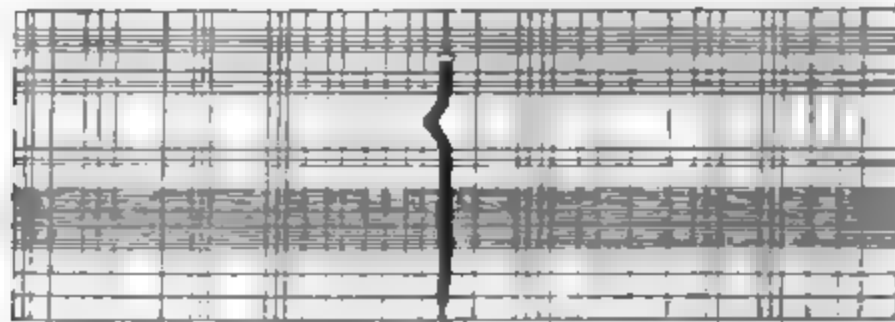
das Instrument so gestellt, dass die *F*-Linie des Sonnenspec-
einen Spectrum genau in die Verlängerung des anderen fällt, so
ei Beobachtung eines Sternspectrums in Folge der kosmischen
die beiden *F*-Linien auseinander treten (Pogg. Ann. CXXXVIII).
die Verschiebung der Fraunhofer'schen Linien hat Lockyer
die Bewegung von Gasmassen in der Sonnenatmosphäre con-
das Telestereoskop auf Flecken in der Mitte der Sonnenscheibe
zeigte nämlich die Wasserstofflinie *F* grosse Unregelmässig-
an einigen Stellen erschien sie dunkel auf hellem, an anderen
gegen hell auf dunklem Grunde. In den hellen Parthieen so-
in den dunklen, zeigte sie sich theilweise nicht nur breiter,
ich entweder nach der rothen oder nach der violetten Seite des
hin gebogen, wie dies Fig. 205 (a. f. S.) anschaulich machen
hnliche Biegungen zeigte auch die rothe Wasserstofflinie *C*, an
gegen die Veränderungen in der Breite kaum wahrzunehmen

der Grösse der Ausbiegung, wie sie in verschiedenen Fällen

beobachtet wurde, ergab sich eine Geschwindigkeit von 8 bis 25 km für den aufsteigenden oder niederstürzenden Gasstrom, ein Resultat, welches mit dem in §. 122 besprochenen Resultate der Zöllner'schen Messung sehr gut harmonirt.

Während in der Mitte der Sonnenscheibe nur die vertikal aufsteigenden oder niederstürzenden Gasströme eine Verschiebung Fraunhofer'schen Linien bewirken können, geschieht dies am Sonnenrande nur durch Strömungen, welche parallel der Sonnenoberfläche der Erde weg oder gegen die Erde hin gerichtet sind. Solche

Fig. 206.



gungen in der Sonnenatmosphäre werden durch das Spectroskop merklich gemacht, dass die hellen Linien der Chromosphäre geradlinigen Fortsetzungen der entsprechenden dunklen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenrandes sind, sondern dass sie entweder auf einer oder anderen Seite hin abgebogen erscheinen. Lockyer hat Verschiebungen beobachtet, welche einer Geschwindigkeit von 8 bis 9 Meilen in der Secunde entspricht.

Während das Spectroskop für eine bestimmte Stelle des Sonnenrandes einen sich der Erde nähernden Gasstrom anzeigte, ergab sich an einer 340 Meilen davon entfernten Stelle des Sonnenrandes ein sich mit gleicher Geschwindigkeit von der Erde entfernender Gasstrom, man hatte es also hier offenbar mit einem gewaltigen Wirbelsturm (Cyclone) von 340 Meilen Durchmesser zu thun.

136 Geschwindigkeit des Lichtes. Vergeblich hatten die Mitglieder der florentinischen Akademie durch Versuche auf der Erde die Geschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln versucht. Erst dem dänischen Astronomen Römer gelang es durch seine fleissigen Beobachtungen der Jupiterstrabanten, die er in den Jahren 1673 und 1676 mit Cassini'schen Fernrohren auf der Sternwarte zu Paris anstellte, dieselbe zu bestimmen.

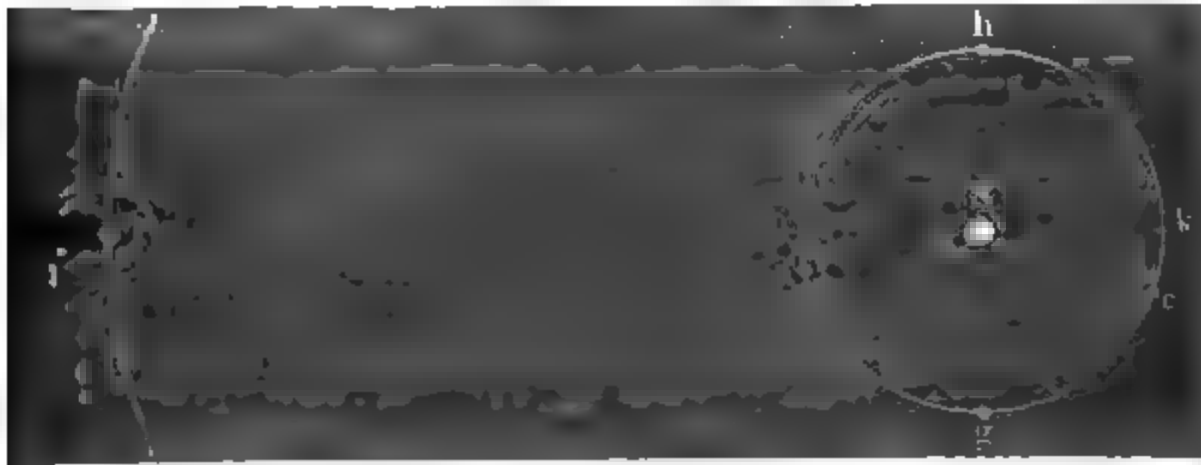
Auf Seite 199 sind bereits die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten besprochen worden. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, ergibt sich in folgender Weise aus einer genauen Beobachtung der Momente des Eintritts oder des Austritts der Strabanten in oder aus dem Schatten des Jupiter.

In Fig. 206 stelle S die Sonne, der um S gezogene Kreis die Bahn und J den Jupiter mit der Bahn eines seiner Trabanten

Während sich die Erde von o bis k bewegt, also während der Zeit zwischen der Opposition des Jupiter und der nächsten Conjunction können wir von der Erde aus sehen, wie die Trabanten auf der Ostseite des Juppiters aus demselben austreten; während der Zeit zwischen der Conjunction aber bis zur nächsten Opposition können wir die Eintritte der Trabanten in den Jupiterschatten beobachten; während dieser Zeit werden wir den Trabanten westlich vom Jupiter verschwinden.

Ermittelt man die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten eines und desselben Trabanten, etwa des ersten, vergeht, so findet man sie in verschiedenen Perioden nicht gleich. Während der Oppositionsperiode, also wenn die Erde in der Nähe von o steht, oder während der Conjunctionsperiode, wenn also die Erde in der Nähe von k steht, ergibt sich die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten oder zwei auf einander folgenden Eintritten vergeht, kürzer,

Fig. 206.



zur Zeit der ersten Quadratur, wenn die Erde bei g , und länger, als zur Zeit der zweiten Quadratur, wenn die Erde in der Nähe von k steht.

Dies ist nun eine Folge davon, dass sich das Licht nicht momentan ausbreitet, sondern dass es zur Durchlaufung grösserer Räume eine messbare Zeit gebraucht.

Zur Zeit der Opposition oder Conjunction bewegt sich die Erde in gerader Linie auf den Jupiter in einer Weise, dass sie sich demselben weder nähert noch sich von demselben entfernt; in diesen Perioden ist also die zwischen zwei auf einander folgenden Ein- oder Austritten vergehende Zeit nahezu die Umlaufszeit des Trabanten um den Jupiter.

In der Nähe der Quadratur g entfernt sich die Erde in gerader Linie von dem Jupiter und die zwischen zwei auf einander folgenden beobachteten Austritten vergehende Zeit ist also gleich der Umlaufszeit des Trabanten + der Zeit, welche das Licht zur Durchlaufung des Weges braucht, um welchen sich unterdessen die Erde vom Jupiter entfernt hat.

Zur Zeit derjenigen Quadratur, in welcher man die Eintritte der Trabanten in den Jupiterschatten sehen kann, also wenn sich die Erde ungefähr in k befindet, nähert sie sich fast in gerader Linie dem Jupiter,

und demnach ist die Zeit, welche zwischen den beiden Momenten geht, in welchen man während dieser Periode zwei aufeinander folgende Eintritte beobachtet, gleich der Umlaufszeit des Trabanten — der welche das Licht zum Durchlaufen des Weges gebraucht, um welches sich während dieses Umlaufs die Erde dem Jupiter genähert hat.

Ein Beispiel mag dies erläutern.

Im Jahre 1851 wurde alsbald nach der Opposition ein Austritt ersten Trabanten beobachtet am 11. April $15^h 6' 36,3''$; der nächst 13. April $9^h 35' 3,0''$. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren so ergibt sich für die Umlaufszeit des ersten Trabanten

42 Stunden $28' 26,7''$.

Zur Zeit der nächsten Quadratur wurde ein Austritt beobachtet 14. Juli $10^h 21' 50,3''$ und ein anderer, und zwar von diesem an gerechnet der neunte, am 30. Juli $8^h 39' 42''$. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab und dividirt man durch 9, so ergibt sich für die zwischen zwei auf einander folgenden Austritten liegende Zeit

42 Stunden $28' 39''$.

Zieht man davon die Umlaufszeit ab, wie sie aus den Aprilbeobachtungen abgeleitet wurde, so ergibt sich 12,3 Secunden als die Zeit, welche das Licht gebraucht, um den Raum zu durchlaufen, um welchen sich die Erde in der Periode der Quadratur von dem Jupiter entfernt, während der erste Trabant einen Umlauf vollendet.

In einer Secunde geht die Erde in ihrer Bahn um 4 geographische Meilen vorwärts; während $42\frac{1}{2}$ Stunden, der Umlaufszeit des Trabanten, durchläuft sie also einen Raum von 612 000 Meilen, in welchem Raum das Licht in 12,3 Secunden, in 1 Secunde also einen Weg von 49 700 Meilen.

Dies Resultat ist jedoch nicht genau, wie sich denn überhaupt der angegebenen Weise aus einzelnen Beobachtungen deshalb keine genaueren Resultate ziehen lassen, weil die Trabanten nicht immer durch die Mitte des Jupiterschatten gehen und deshalb die Austritte bald etwas früher, bald etwas später erfolgen, als wenn die Trabanten stets an derselben Stelle den Jupiterschatten passirten.

Die genaue Umlaufszeit der Trabanten kann nur aus einer großen Reihe von Beobachtungen mit Genauigkeit ermittelt werden. Sie beträgt für den ersten Trabant 42 Stunden $28' 35''$.

Kennt man einmal die Umlaufszeit des Trabanten, kennt man den Moment, in welchem kurz nach der Opposition, als sich die Erde in α befand, ein Austritt desselben beobachtet wurde, so kann man berechnen, in welchem Momente, von dem erwähnten an gerechnet, der 100ste Austritt desselben Trabanten beobachtet werden müsste, vorausgesetzt, dass sich das Licht momentan fortpflanzte. (Bei dieser Berechnung darf aber natürlich die Fortbewegung des Jupiter und also die Veränderung in der Lage seines Schattens nicht unberücksichtigt bleiben.) Während dieser 100 Umläufe hat sich aber die Erde um

er fortbewegt, und wenn man nun den Austritt beobachten will, so findet man, dass derselbe später, und zwar ungefähr um 15 Minuten nach dem berechneten Moment stattfindet. Die Zeit nun, welche zwischen dem berechneten Moment und dem Zeitpunkte vergeht, in welchem der Austritt wirklich beobachtet wird, ist die Zeit, welche das Licht nöthig hat, um die Entfernung zu durchlaufen, um welche die Erde jetzt, als sie sich in *c* befindet, weiter von dem Jupiter absteht, als da sie noch *a* war.

Man findet nun die Geschwindigkeit des Lichtes, wenn man die Differenz der Entfernungen durch beobachtete Verspätung dividirt. Es ergibt sich auf diese Weise, dass das Licht in einer Secunde ungefähr den Weg von 42 000 Meilen zurücklegt, und dass es, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, 8' 13" bedarf.

Auf der anderen Hälfte der Erdbahn, zwischen einer Conjunction und der nächsten Opposition werden die Eintritte vor den Momenten treten, welche man in obiger Weise von einem Eintritt unmittelbar nach der Conjunction ausgehend berechnet hat.

Bereits auf Seite 288 haben wir die Entfernung derjenigen Sterne kennen gelernt, welche uns am nächsten sind; da wir nun auch die Geschwindigkeit kennen, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortbewegt, so lässt sich leicht berechnen, welche Zeit das Licht gebraucht, um von einem dieser uns zunächst gelegenen Fixsterne auf die Erde zu gelangen. Es ergibt sich für

α Centauri . . .	3,5 Jahre	Wega	15,3 Jahre
61 cygni	8,7 „	Arcturus	24,3 „
Sirius	14,1 „		

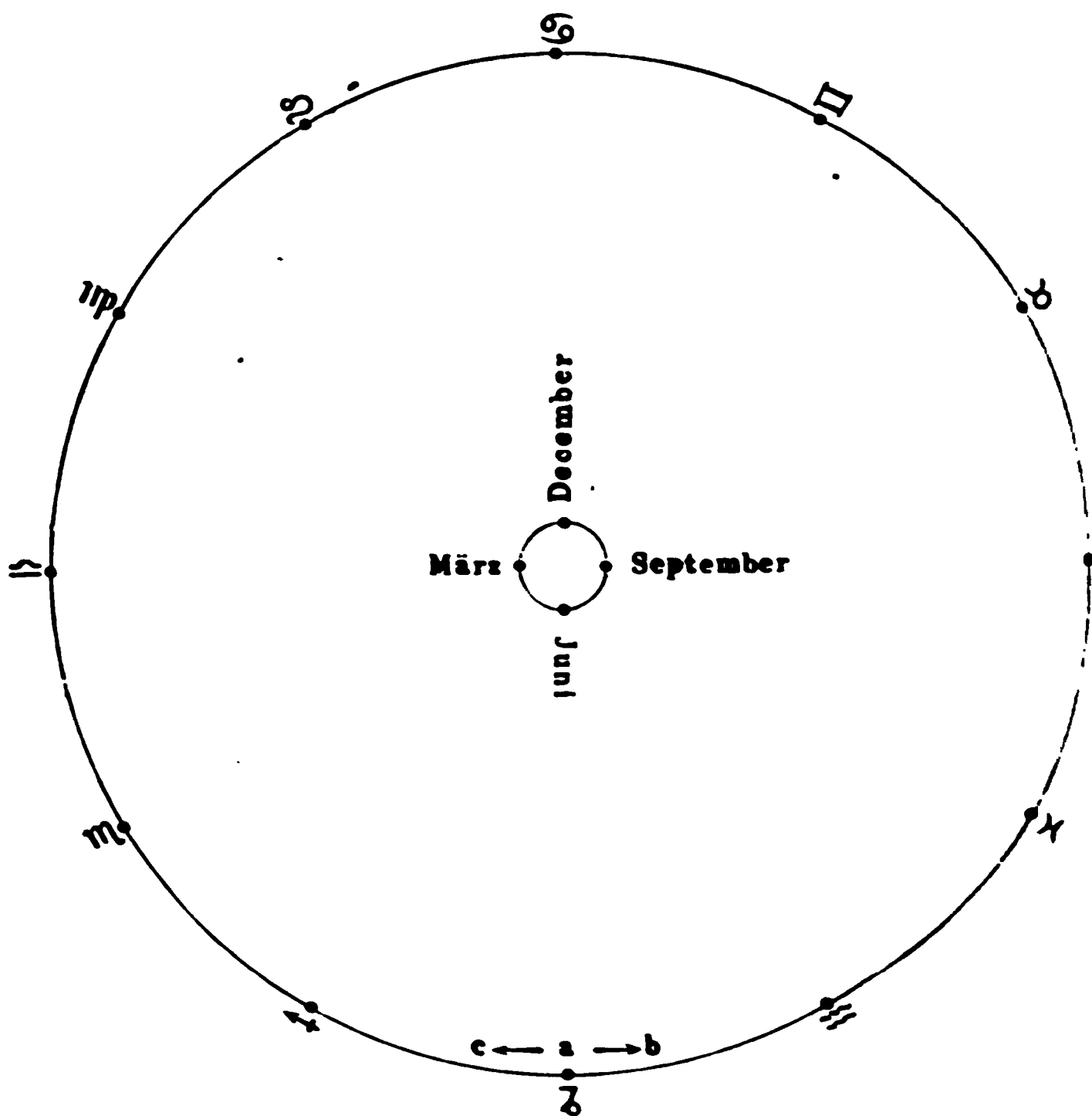
Wenn also plötzlich das Licht des Arcturus verlöschen würde, so würden wir ihn doch noch 24 Jahre nach diesem Ereigniss am Himmel sehen sehen.

Aberration des Lichts. In der Absicht, eine Parallaxe der Sterne aufzufinden, hatte Bradley im Jahre 1725 eine Reihe genauer Sternbeobachtungen begonnen. Vorzüglich war es der Stern γ im Haupte des Drachen, den er mehrere Jahre hindurch mit grosser Aufmerksamkeit verfolgte. Er fand bald, dass weder die Länge noch die Breite dieses Sternes unverändert blieb. Im Juni, zur Zeit der Opposition mit der Sonne, war seine Länge stets am grössten, im December gegen, also zur Zeit der Conjunction, war sie am kleinsten; die Differenz der grössten und kleinsten Länge betrug 40,5 Secunden; kurz, derselbe beschrieb während eines Jahres am Himmel eine kleine Ellipse, deren grosse Axe, mit der Ekliptik parallel, 40,5 Secunden betrug.

Eine ganz ähnliche, scheinbare Bewegung fand sich nun bei allen anderen Fixsternen. Für alle war die grosse Axe der Ellipse mit der Ekliptik parallel, und hatte stets die gleiche Grösse von 40,5 Secunden;

für die Sterne, die in der Nähe des Pols der Ekliptik liegen, ist die scheinbare Bewegung fast kreisförmig, während dagegen die kleine Axen-Ellipse um so kleiner wird, je näher die Sterne der Ekliptik stehen; wird endlich Null für die Sterne, die auf der Ekliptik selbst liegen, und haben also bloss eine in der Ebene der Ekliptik hin- und hergehende Bewegung von $40,5''$.

Fig. 207.



Bradley erkannte richtig als Ursache dieser Erscheinung mit dem Namen der Aberration bezeichnete, das Zusammenwirken der Geschwindigkeiten des Lichts und der Erde. Um die Sache anschaulicher zu machen, wollen wir einen Stern betrachten, der ungefähr gleich weit von γ draconis hat, aber auf der Ekliptik selbst liegt, also den δ in Fig. 207.

In dieser Figur bezeichnet nämlich der kleine Kreis die Erdbahn, der grössere concentrische den Thierkreis, gegen dessen Durchmesser der Durchmesser der Erdbahn freilich verschwindend klein sein soll. Im Juni wird nun der in a befindliche Stern durch die Aberration in der Richtung nach b hin, im December wird er eben so weit in der Richtung nach c hin verrückt erscheinen.

aus geht nun zunächst hervor, dass man es hier nicht mit einer der Parallaxe zu thun hat. In Folge der Parallaxe nämlich, eine solche merklich wäre, müsste unser Stern im März seine grösste, im Juni seine kleinste, im Juni und December dagegen seine mittlere haben.

Wir nun zur Erklärung der Erscheinung über. Im März ist die Erde gerade gegen den Punkt a hin, im September entgegengesetzt in gerader Linie von demselben, in dieser Zeit wird man den Stern an seinem wahren Orte erblicken; im Juni und December macht die Erdbahn gerade einen rechten Winkel mit den von a zu ihr kommenden Lichtstrahlen. Stellt nun op , Fig. 208, die Geschwindigkeit der Erde, ro die Geschwindigkeit der eben rechtwinklig auf ihre Bahn treffenden Lichtstrahlen dar, so combiniren sich die beiden Geschwindigkeiten offenbar in der Weise, dass der Eindruck auf das Auge in o derselbe ist, als ob bei ruhender Erde die Lichtstrahlen in der Richtung os gekommen wären, kurz das Auge sieht den Stern a in b .

Nun ist der Winkel $ros = 20,25''$, op die Geschwindigkeit der Erde gleich 4,14 Meilen, es ist also

$$ro = \frac{rs}{\tan 20,25''} = \frac{op}{0,0001} = \frac{4,14}{0,0001},$$

also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes 41 400 Meilen in der Secunde. Die nahe Uebereinstimmung dieses Resultates mit den Werthen, die wir im Paragraphen für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes anführten, liefert uns einen Beweis für die Richtigkeit des Princips, dass die Aberrationserscheinung erklärt worden ist.

Winkel von $20,25''$, um welchen ein Fixstern nach der Richtung der Erdbewegung scheinbar verschoben erscheint, in welcher sich gerade die Erde bewegt, wenn die von ihm kommenden Strahlen rechtwinklig auf die Erdbahn fallen, ist der Aberrationswinkel.

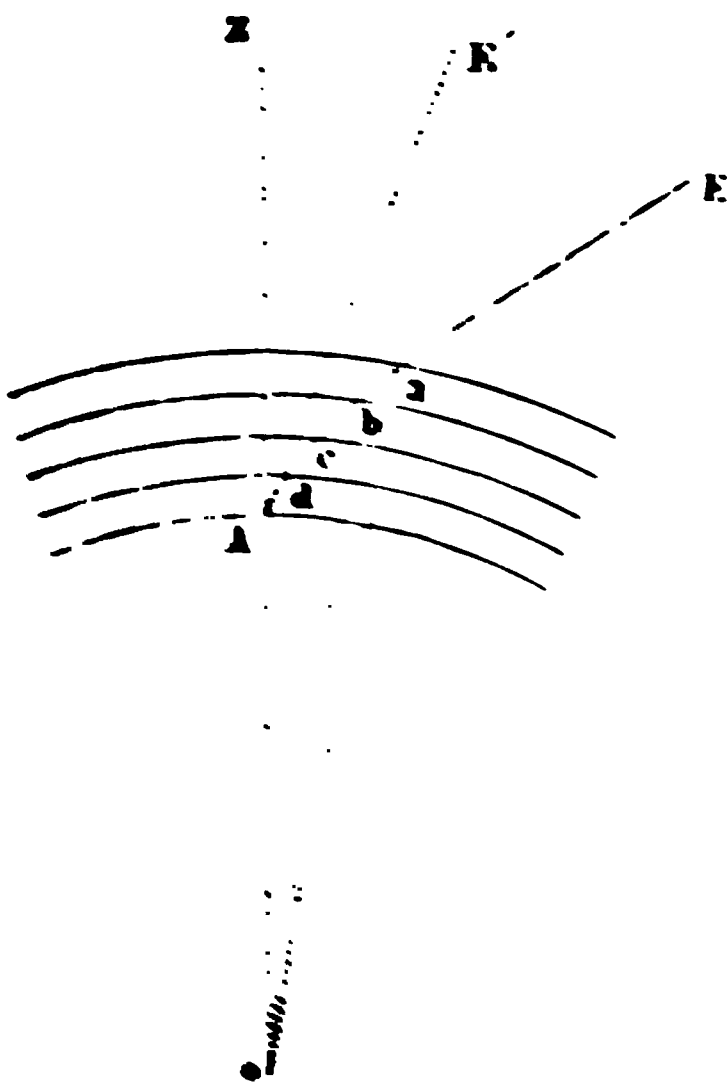
Der Stern, welcher im Pol der Ekliptik steht, sendet seine Strahlen rechtwinklig auf alle Punkte der Erdbahn, so dass er von seinem wahren Orte stets um $20,25''$ verrückt erscheint, immer in der Richtung, mit welcher sich gerade die Erde bewegt. Jeder Stern muss also am Himmel im Laufe eines Jahres einen Kreis von $20,25''$ Halbmesser um seinen wahren Ort beschreiben.

Zweites Capitel.

Atmosphärische Lichterscheinungen

136 Atmosphärische Refraction. Wenn von irgend einer Sterne ein Lichtstrahl auf die Atmosphäre unserer Erde trifft, so wird er nach den bekannten Brechungsgesetzen zufolge, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt; diese Ablenkung nimmt aber continuirlich zu,

Fig. 209.



der Lichtstrahl allmählich in die dichtere Luftschichten eintritt und so kommt es, dass derselbe dem Wege durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche eine Curve beschreibt.

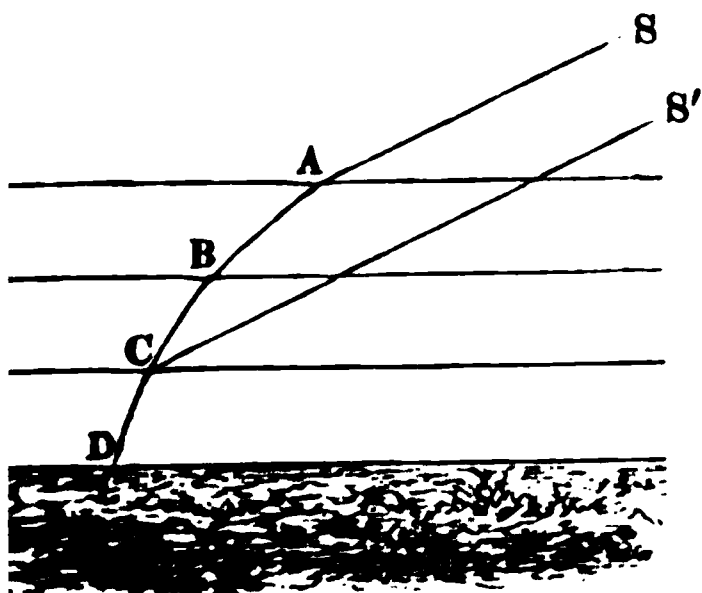
Um den ganzen Vorgang der atmosphärischen Refraction übersichtlich zu machen, wollen wir annehmen, die ganze Atmosphäre sei in eine Reihe concentrischer Schichten getheilt, von denen jede ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gleichförmige Dichtigkeit hat, aber dichter ist als die nächste und weniger dicht als die tiefere. Trifft nun ein Lichtstrahl *Ea*, Fig. 209, auf die oberste Schicht der Atmosphäre, so wird er auf diese Weise abgelenkt, dass er desto mehr gebrochen wird, je näher er der Erdoberfläche genähert wird,

ste Schicht in der Richtung ab durchlaufen; in b auf eine dichtere Schicht treffend, erleidet der Strahl eine zweite Ablenkung in dem Sinne u. s. w. und kommt endlich auf der Oberfläche der Erde an, nachdem er die unterste Schicht der Atmosphäre in der Richtung A durchlaufen hat. In der Wirklichkeit ist aber nun $abcdA$ keine gerade Linie, sondern eine continuirliche Curve. Ein Beobachter, welcher sich in A befindet, wird offenbar denselben Eindruck haben, als wenn ein Gestirn, von welchem der Lichtstrahl ausgeht, sich in der Richtung A an die Curve gelegten Tangente AE' befände. Durch den Einfluss der atmosphärischen Refraction erscheinen also alle Gestirne dem Beobachter näher gerückt, sie scheinen höher über dem Horizonte zu stehen, als wirklich der Fall ist.

Wie aus den mit einem Höhenkreise gemachten Messungen geben uns also nicht die wahren Werthe der Zenithdistanz der Gestirne, sondern nur die durch die atmosphärische Refraction verminderte Zenithdistanz; um den wahren Ort eines Gestirnes am Himmelsgewölbe zu bestimmen, muss man die Grösse der atmosphärischen Refraction kennen und dieselbe in Rechnung bringen.

Wegen der verhältnissmässig geringen Höhe der Atmosphäre kann man den wirklichen Fehler für alle Gestirne, welche mehr als 15° über dem Horizonte stehen, von der Krümmung der Atmosphäre abstrahiren und die Atmosphäre aus lauter horizontalen Schichten bestehend betrachten. Mit dieser Annahme lässt sich nun leicht die Grösse der atmosphärischen Refraction berechnen.

Fig. 210.



Die Physik lehrt uns, dass, wenn ein Lichtstrahl der Reihe nach verschiedene Schichten durchläuft, deren Gränzflächen sämmtlich einander parallel sind, er in der letzten Schicht genau denselben Weg durchläuft, als ob alle Zwischenschichten fehlten und der Lichtstrahl in seiner ursprünglichen Richtung gleich auf diese letzte Schicht gefallen wäre, wie dies Fig. 210 erläutert. Die Rich-

tung, in welcher das Licht eines Sternes unser Auge trifft, wird also die- selbe, als ob seine Strahlen unmittelbar aus dem luftleeren Himmels- raum auf eine Atmosphäre getroffen wären, deren Dichtigkeit so gross ist, wie die Dichtigkeit der Luft, in der wir uns gerade befinden.

Beim Uebergang eines Lichtstrahles aus dem leeren Raume in Luft bei einem Barometerstand von 760 Millim. ist der Brechungs- coefficient 1 000 294 (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl., 1. Band, Seite 556); wenn wir also die wahre Zenithdistanz mit z , die durch die atmo-

sphärische Refraction verkleinerte oder die scheinbare Zenithdistanz z' , so ist:

$$\sin. z = 1,000294 \sin. z'.$$

Der Brechungsexponent der Luft ändert sich aber mit dem Barometerstande, der Temperatur u. s. w. Für einen Barometerstand 760 Millim. und eine Temperatur von 10° C. ist er 1,00028; für den Werth des Brechungsexponenten der Luft enthält die folgende Tabelle für die scheinbaren Zenithdistanzen von 5 zu 5 Grad die entsprechenden Werthe der atmosphärischen Refraction, d. h. den Winkel, um welchen die wahre Zenithdistanz grösser ist als die scheinbare. Ausserdem noch die Refraction für 87° und 89° beigelegt worden, um zu sehen wie rasch dieselbe gegen den Horizont hin zunimmt.

Scheinbare Zenithdistanz.	Atmosphärische Refraction.	Scheinbare Zenithdistanz.	Atmosphärische Refraction.
5°	5,1"	55°	1' 23,1"
10	10,3	60	1 40,6
15	15,6	65	2 4,3
20	21,2	70	2 38,8
25	27,2	75	3 34,3
30	33,6	80	5 19,8
35	40,8	85	9 54,3
40	48,9	87	14 28,1
45	58,2	89	24 21,2
50	1' 9,3	90	33 46,3

Da sich die Grösse der atmosphärischen Brechung mit dem Barometerstande der Temperatur und dem Feuchtigkeitszustande der Luft ändert, so muss man an den in obiger Tabelle enthaltenen Werthen eine den veränderten Umständen entsprechende Correction anbringen, auf deren nähere Besprechung wir aber hier nicht eingehen können.

In Folge der atmosphärischen Refraction sehen wir auch die Sonne noch vollständig über dem Horizonte, wenn der untere Rand derselben in der That schon 33' unter denselben hinabgesunken ist; durch die Atmosphäre bleibt uns also des Abends die Sonne über zwei Zeiteinheiten länger sichtbar, als es ohne die Atmosphäre der Fall sein würde. Ebenso findet der scheinbare Sonnenaufgang um mehr als 2 Mi-
nuten früher Statt als der wahre. Dies erklärt nun auch, dass man bei Mondfinsterniss Sonne und Mond zugleich über dem Horizonte

man, wie es in der That der Fall ist, wenn die Mondfinsterniss zur Zeit des Sonnenaufganges oder des Sonnenunterganges stattfindet.

Das Funkeln der Sterne. Gewöhnlich erscheint uns das Licht der Fixsterne nicht ruhig, sondern es scheint von Zeit zu Zeit, und zwar wechselnd mit grüner, blauer oder rother Farbe aufzublitzen. Diese ständige Veränderung im Lichte der Fixsterne ist es, welche man Funkeln oder auch Scintillation nennt.

Die mit blossen Auge sichtbaren Planeten zeichnen sich vor den Fixsternen durch ein sehr ruhiges Licht aus; sie zeigen das Phänomen des Funkelns entweder gar nicht oder doch weit schwächer.

Eine Erklärung dieses eigenthümlichen Phänomens, welches wesentlich dazu beiträgt, die Schönheit des gestirnten Himmels zu erhöhen, hat Arago gegeben. Für die Bewohner der Erde sind die Fixsterne als leuchtende Punkte zu betrachten. Zwei homogene Lichtstrahlen, welche gleichzeitig von dem Sterne ausgehend in das Auge des Beobachters gelangen, werden aber, so nahe sie auch einander sein mögen, beim Durchgange durch die Atmosphäre nicht immer gleiche Verzögerungen erleiden, indem die geringsten Differenzen in der Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschichten schon einen namhaften Gangunterschied der beiden Strahlen bewirken können. Weil aber ein beständiger Wechsel der Temperatur, des Druckes und der Feuchtigkeit in der Luft stattfindet, wird auch die Grösse dieses Gangunterschiedes fortwährenden Schwankungen unterworfen sein, und so kommt es denn, dass zwei solche Strahlen, auf der Netzhaut des Auges vereinigt, sich entweder gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen (wenn der Gangunterschied Null ist oder ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt) oder sich gegenseitig aufheben (wenn der Gangunterschied einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge gleich ist). Auf diese Weise wird also das Licht des Sternes bald stärker, bald schwächer erscheinen und dieser Wechsel kann mit grosser Geschwindigkeit vor sich gehen.

Wir haben bisher angenommen, dass der Stern nur homogenes, einfarbiges Licht, also etwa nur rothes oder nur blaues aussende. Dies ist in der That nicht der Fall, da das Licht der Fixsterne weiss, also aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt ist. Da nun die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen nicht gleich ist, so wird unter sonst gleichen Umständen der Gangunterschied der rothen Strahlen ein anderer sein müssen, als der der grünen, blauen u. s. w. In demselben Augenblicke, wo die rothen Strahlen sich fast aufheben, können also die blauen gerade so interferiren, dass sie sich gegenseitig verstärken, und im nächsten Moment wird dann wieder ein Aufblitzen des rothen Lichtes stattfinden, während die blauen und grünen Strahlen fast erloschen erscheinen.

Während die Fixsterne, selbst durch die stärksten Fernrohre betrachtet, noch keine merklichen Dimensionen zeigen, haben die Planeten,

durch Fernrohre betrachtet, einen namhaften Durchmesser; ein Pl kann demnach als ein Aggregat einfacher leuchtender Punkte betrachtet werden. Jeder dieser Punkte für sich allein wird sich nun wie ein stern verhalten, und er würde funkeln wie ein Fixstern, wenn er wäre. Da aber nicht alle leuchtenden Punkte, welche die Scheib Planeten bilden, gleichzeitig auf gleiche Weise funkeln, so wird das keln des einen Punktes im Allgemeinen das des anderen neutral und so kommt es denn, dass die Planeten sich durch ein ruhiges auszeichnen.

Man hat bemerkt, dass sich das Funkeln der Sterne dann besonders stark zeigt, wenn die Luft längere Zeit hindurch trocken war und nun mehr Wasserdampf in derselben zu verbreiten beginnt, so dass auffallend lebhaftes Funkeln der Sterne den Seelenten als ein Z bald eintretenden Regens gilt.

Zwischen den Wendekreisen, wo die Luft oft eine bewundernsw Ruhe und Klarheit zeigt, ist das Funkeln der Sterne bei Weitem so auffallend und lebhaft als in höheren Breiten.

138 Unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft. Gew die atmosphärische Luft ungemein durchsichtig im Vergleich gegen uns bekannten festen und flüssigen Körper und dennoch ist sie, wie die alltäglichsten Erscheinungen lehren, keineswegs vollkommen sichtig. Entfernte Gegenstände erscheinen uns nicht nur unter kle Gesichtswinkel, ihre Färbung erscheint matter, die Contraste zw Schatten und Licht sind schwächer; kurz, je entfernter ein Gegen ist, desto mehr scheint er uns mit einem milchigen, blassblauen S überzogen, wie man namentlich an entfernten Bergen es deutlich Man bezeichnet diese Wirkung der unvollständigen Durchsichtig Luft mit dem Namen der Luftperspective.

Um ein Maass für die Schwächung des Lichtes durch die Atmo zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Dinometer nannte. Diese Vorrichtung besteht aus zwei weissen Sche von denen die eine ungefähr 6 Fuss, die andere 6 Zoll im Durchmesser hat; in der Mitte der grösseren Scheibe ist ein schwarzer Kreis 24 Zoll, auf der anderen ein solcher von 2 Zoll gemalt. Beide Sche werden neben einander aufgestellt, und zwar so, dass sie nach ein derselben Seite gekehrt und vollkommen gleich beleuchtet sind. Wenn man sich nun allmähig, so kommt man bald zu einem Punkte, in welchem der kleine schwarze Kreis dem Auge verschwindet, und wenn man dann noch weiter von den Scheiben entfernt, so gelangt man auch dahin, dass der grössere schwarze Kreis auch nicht mehr bar ist.

Misst man nun die Entfernungen der Scheibe von den Punkten, welchen der kleine und der grosse Kreis verschwindet, so findet dass sie keineswegs den Durchmessern der Kreise proportional sind.

n müsste, wenn die Luft vollkommen durchsichtig und das Ver-
 anden der schwarzen Kreise nur durch die Kleinheit des Gesichts-
 ls bedingt wäre.

Bei einem derartigen Versuche verschwand z. B. der kleine Kreis
 er Entfernung von 314 Fuss, der grosse aber nicht in zwölffacher
 nung, sondern schon bei einem Abstände von 3588 Fuss. Die
 Abstände verhalten sich wie 1 zu 11,427; die kleine schwarze
 e verschwand unter einem Gesichtswinkel von $1' 49''$, die grosse
 unter einem Gesichtswinkel von $1' 55''$.

Dass der grössere schwarze Kreis schon verschwindet, bevor der
 nkel auf die Grösse herabgesunken ist, bei welcher der kleine Kreis
 t, dem blossen Auge sichtbar zu sein, rührt nur daher, dass bei
 rer Entfernung in Folge der durch die Atmosphäre bewirkten
 bsorption der Contrast der schwarzen Scheibe und des weissen
 es geringer wird.

n grösseren Höhen über dem Meeresspiegel ist begreiflicher Weise
 oft durchsichtiger als in der Tiefe, wie dies auch vergleichende Ver-
 darthun, welche H. Schlagintweit in den Alpen anstellte (Pogg.
 LXXXIV, 1851). Der kleine schwarze Kreis des Schlagintweit'-
 Diaphanometers hatte 1 Zoll, der grössere hatte 12 Zoll im Durch-
 r. An sehr günstigen reinen Tagen fand er für den Quotienten
 iden Entfernungen, in welchen die kleine und grosse Scheibe ver-
 den, den Werth

10,279 in einer Höhe von 2300' über dem Meere, und

11,957 " " " " 12000' " " "

Man sieht, wie sich dieser Quotient für grössere Höhen seinem Gränz-
 e weit mehr nähert, als es für tiefer liegende Orte der Fall ist.

Die Durchsichtigkeit der Luft ist aber selbst für einen und den-
 Ort von sehr veränderlicher Grösse. Während man z. B. bei durch-
 ger Luft von den Höhen des Schwarzwaldes aus die schneebedeckte
 kette in grosser Klarheit und mit scharfen Umrissen erblickt, ist
 e an anderen Tagen oft bei ganz wolkenfreiem Himmel vollkommen
 tbar.

n Allgemeinen sind die sonnigsten, wolkenfreiesten Tage keines-
 liejenigen, an welchen die Luft besonders durchsichtig ist; im Ge-
 ul hat man bei anhaltend guter Witterung selten eine klare Fern-
 und man kann es fast stets als ein Zeichen bald eintretenden
 s betrachten, wenn ferne Berge sehr klar erscheinen. Die Luft
 t, wenigstens in unseren Klimaten, ihre grösste Durchsichtigkeit,
 nach lang anhaltendem Regen oder auch nach einem Gewitter eine
 Aufheiterung des Himmels erfolgt, die aber dann selten von
 ist.

n den Aequatorialgegenden ist die Luft bei weitem durchsichtiger
 unseren Gegenden, so dass man dort kleinere Sterne deutlich

mit blossen Auge unterscheiden kann, die bei uns stets unsichtbar bl
So unterschied Humboldt an der Küste von Cumana und an
12000 Fuss hohen Ebenen der Cordilleren mit unbewaffnetem
vollkommen deutlich das Sternchen Alcor (auch das Reiterchen ge
welches ganz in der Nähe des Sternes Mizar im Schwanze des G
Bären steht, obgleich dieses Sternbild in Südamerika nicht so hoch
dem Horizonte steht, wie bei uns, wo man es nur selten und dann
mit grosser Bestimmtheit von dem benachbarten Mizar getrennt
kennen im Stande ist.

In der Nähe von Quito sah Humboldt mit unbewaffneten
auf eine Entfernung von vier deutschen Meilen einen weissen, in
den schwarzen basaltischen Wänden hinbewegenden Punkt, den er
das Fernrohr als seinen in einen weissen Mantel gehüllten Reiseg
Bonpland erkannte.

Sehr durchsichtig ist auch die trockene Luft der Binnenländer
in höheren Breiten, so namentlich in Persien, dem Himalaya
Sibirien.

Als Ursache der geringeren Durchsichtigkeit der Luft bei trockener
Witterung betrachtet A. de la Rive das Vorhandensein von feinem
sichtigem Staub und Pflanzenkeimen in derselben. Wird dann die Luft
beim Einfallen südwestlicher Winde feuchter, so werden diese Körner
durch Absorption des Wasserdampfes durchsichtiger und zugleich so leicht
so dass sie schneller zu Boden fallen, was bei beginnendem Regen
vollständiger erfolgt. Maréchal Vaillant dagegen sucht den haupt
sächlichsten Grund der verschiedenen Durchsichtigkeitsgrade darin,
dass beim Wehen der südwestlichen Winde die Temperatur der
Boden und Luft viel gleichartiger und deshalb die Unruhe der Luft
durch aufsteigende und niedersinkende Luftströmungen weit geringer
sei als bei Nordostwinden. Unruhige Luft ist aber undurchsichtiger
weil an den Grenzen wärmerer und kälterer Luftschichten vielfache
Reflexionen und unregelmässige Brechungen stattfinden.

139 Der Durchsichtigkeits-Coëfficient. Ein richtiger
über die Grösse der Lichtabsorption in der Luft erhält man
durch die Bestimmung des Durchsichtigkeits-Coëfficienten
durch Bestimmung des Bruchtheils des einfallenden Lichtes,
durch eine Luftschicht von der Länge 1 hindurchgeht. Die Bestimmung
dieses Coëfficienten aus den mit dem Diapycnometer gemachten
Messungen stützt sich auf die Voraussetzung, dass die Erscheinung
wesentlich geändert würde, wenn die Scheiben aus weissen Kristallen
schwarzem Grunde beständen und dass in diesem Falle die bei
verschieden grossen weissen Flecke im Momente, wo sie verschwinden,
viel Licht ins Auge senden.

Es sei nun i die Lichtmenge, welche die kleine Scheibe in

Man würde, wenn sie in der Entfernung 1 aufgestellt wäre und wenn
keine Lichtabsorption in der Luft stattfände, so ist

$$l = \frac{i}{\rho^2} a^s \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Lichtmenge, welche von derselben Scheibe ins Auge gelangt, wenn **in** der Entfernung e aufgestellt ist, und wenn a den Durchsichtigkeitskoeffizienten bezeichnet. Ist d der Durchmesser der kleinen, D aber der grossen Scheibe, so ist die Lichtmenge L , welche die grosse Scheibe (bei gleicher Beleuchtung) aus der Entfernung E ins Auge

[illegible]

Sind nun e und E die Entfernungen, für welche der kleine und der grosse Fleck eben verschwinden, so sendet die grosse Scheibe aus der Entfernung E eben so viel Licht ins Auge, wie die kleine aus der Entfernung e , es ist also für diesen Fall $l = L$ oder

$$\frac{i}{e^2} a^e = \frac{D^2 i}{d^2 E^2} a^E$$

$$\frac{a^E}{a^e} = \frac{d^2 E^2}{D^2 e^2}$$

1. daraus

$$a = \left(\frac{d}{D} \cdot \frac{E}{e} \right)^{\frac{2}{E-e}} 3)$$

den oben erwähnten, von Schlagintweit angestellten Versuchen
 $D=12d$. In einer Höhe von 12000' fand er $e=230$, $E=2750$
 danach

$$u = \left(\frac{2,75}{12 \cdot 0,23} \right)^{\frac{2}{2,52}} = 0,9971,$$

man eine Länge von 1000 Fuss zur Längeneinheit wählt. Aus
in einer Höhe von 2300' angestellten Versuchen ergibt sich nach
Formel

$$a = 0,9029.$$

Bei Ableitung dieser Formel ist stillschweigend angenommen, dass Pupillenöffnung des Auges bei der Beobachtung der grossen Scheibe so gross sei, wie bei der Beobachtung der kleinen. Es ist aber bekannt, dass sich die Pupille beim Accommodiren auf nahe Gegenstände verengert. Mit Berücksichtigung dieses geht die Gleichung 3) über in

[illegible]

wenn p den Durchmesser der Pupillenöffnung bei Beobachtung der nahen Scheibe P aber denselben bei Beobachtung der entfernteren Scheibe bezeichnet, so wie De la Rive und Wild, welcher zuerst auf diesen Punkt aufmerksam gemacht hat (Pogg. Ann. CXXXIV, 1868) fand, dass sich der Durchmesser der Pupillenöffnung für die fragliche Distanzveränderung ungefähr im Verhältnisse von 24 zu 30 ändert, dass also in unserem Falle $\frac{p}{P} = \frac{24}{30} = 0,8$

Berechnet man den Durchsichtigkeitscoefficienten aus den von Schlötenweit in einer Höhe von 2300 Fuss angestellten Beobachtungen (Gleichung 4), so erhält man

$$a = 0,7225$$

statt des oben angeführten Werthes $a = 0,9029$. Der Einfluss der Pupillenöffnung ist also ein sehr bedeutender.

Ausser dem oben erwähnten Umstande werden aber die nach den Beobachtungen mit dem Saussure'schen Diaphanometer berechneten Werthe von a auch noch dadurch unsicher, dass eine vollkommen gleichmässige Beleuchtung der beiden Scheiben, welche bei der Construction der Formeln stillschweigend vorausgesetzt wurde, schwer zu realisiren ist. Es dürfte also zuverlässiger Methoden, um den Durchsichtigkeitscoefficienten der Luft mit grösserer Genauigkeit zu bestimmen, wie die der That durch die Beobachtungen von De la Rive und Wild zu sehen ist.

140 Methoden und Messungen von De la Rive und Wild

Um Versuche über die Durchsichtigkeit der Luft anzustellen, hat De la Rive einen Apparat construirt, von welchem die Annales de chimie et de physique (4. Ser., t. XII, 1867) eine kurze Beschreibung enthalten. Eine ausführlichere Beschreibung mit Abbildung und den mit diesem Instrumente erhaltenen Resultaten soll demnächst veröffentlicht werden. Im Wesentlichen besteht das Instrument aus zwei Fernrohren mit gemeinschaftlichem Ocular.

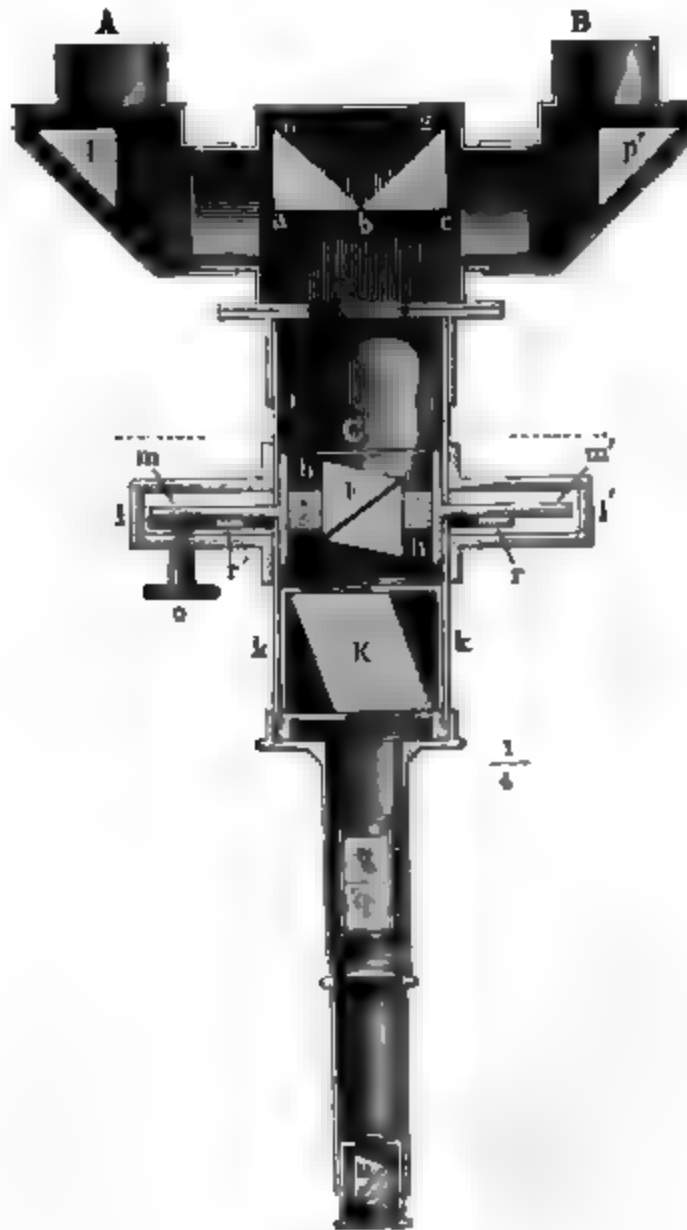
Jedes Objectiv giebt sein Bild in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes des Oculars, so dass man die Bilder der Gegenstände, auf welche die beiden Fernrohre gerichtet sind, dicht neben einander erblickt. Der Winkel, welchen die Axen der beiden Rohre mit einander machen, kann von 0° bis 29° variirt werden. Die durch jedes Objectiv eintretenden Strahlen werden durch zwei totale Reflexionen dem Ocular zugeführt.

Als Vergleichsobjecte dienen zwei gleiche mit weisser Leinwand oder mit Papier überzogene Schirme, welche in passender Weise, möglichst gleich beleuchtet, in verschiedenen Entfernungen aufgestellt, und auf welche dann die beiden Fernrohre gerichtet werden. Von diesen beiden Bildern erblickt man nun, in das Ocular hineinschauend, unmittelbar neben einander zwei Bilder, von welchen das der entfernteren Scheibe schwächer erscheinen wird. Um die Helligkeit der beiden Bilder gleich zu machen, wird vor das auf die nähere Scheibe gerichtete Objectiv

gma mit veränderlicher Oeffnung gesetzt und diese verkleinert
e Bilder gleich hell erscheinen. Aus dem Verhältniss der beiden
öffnungen kann man dann auf das Verhältniss der Helligkeit der
Miren schliessen.

r Wild'sche Apparat ist in Fig. 211 abgebildet, und zwar mit
lassung mancher Constructionsdetails und solcher Einrichtungen,
zu anderen Zwecken dienend, hier unnöthig sind. Das Licht,

Fig. 211.



von der einen der zu vergleichenden Lichtquellen kommt, tritt
die Röhre *A*, das von der anderen Lichtquelle kommende tritt
in die Röhre *B* in den Apparat ein.

Der Theil des bei *A* eintretenden Lichtes dringt ohne Ablenkung
von der Vorderseite des Prismas *p* ein, um an seiner Rückwand eine totale
Reflexion zu erleiden. Die aus dem Prisma *p* austretenden Strahlen treffen
auf ein mit *p* parallel gestellte Glasprisma *abd*, an dessen Rückfläche

sie abermals eine totale Reflexion erleiden, um dann ohne Ablenkung der Fläche ab auszutreten und sich dann rechtwinklig zu ab pflanzen.

In gleicher Weise tritt nach zweimaliger totaler Reflexion winklig zu bc ein Theil der Strahlen aus, welche, von der zweiten quelle kommend, durch die Röhre B in den Apparat eingetreten

Denken wir uns nun denjenigen Theil des Apparates, Fig. 211 fernt, welcher unterhalb der punktirten Linie liegt, so würde man C her gegen die beiden Prismen schauend, zwei erleuchtete Flächen ab und bc sehen, welche in einer geraden, in Fig. 211 in b zum verkürzt erscheinenden Linie an einander stossen. Die Helligkeit welcher uns diese beiden Flächen erleuchtet erscheinen, ist der in der bei A und B eintretenden Strahlen proportional.

Um nun aber die Helligkeit dieser beiden an einander stossenden Flächen zu vergleichen, wendet Wild das von ihm construirte Interferenzphotometer an, welches in unserer Figur unterhalb der punktirten Linie im Durchschnitt dargestellt ist.

Das aus dem Prismenapparat austretende Licht fällt zunächst auf den Kalkspathpolarisator F (am bequemsten ein Foucault'sches siehe Lehrbuch, 7. Aufl. I. Bd. S. 832). Der Polarisator F ist mittelst eines Korkes in einer Hülse h befestigt, welche selbst wieder in der Mitte einer kreisförmigen Messingscheibe m eingelöthet ist. In der Mitte der Scheibe m steckt die Hülse h in der Messinghülse i , andererseits steckt die Hülse i in der Messinghülse k . Die Messinghülsen i und k sind aber durch Metallbügel l und l' fest mit einander verbunden. Zum Verständnisse ist dieser Theil des Apparates in Fig. 212 von K aus dargestellt.

Durch diese Einrichtung ist es möglich, die Platte m in ihrer

Fig. 212.



also auch die Hülse h sammt dem Polarisator F um ihre Axe zu drehen, während alle übrigen Theile des Apparates in unveränderlicher gegenseitiger Stellung bleiben.

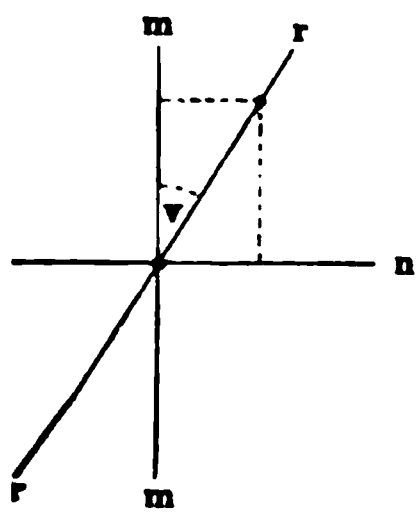
Die Drehung der Scheibe m wird durch den Knopf o bewerkstelligt, welchem ein Trieb in Verbin- dung steht, der in den gezahnten Ring der Platte m aufgelöthet eingreift.

Die bei A und B eintretenden Lichtstrahlen, welche wenigstens in den hier zu betrachtenden Fällen vollkommen unpolarisirt sind, werden nun durch das Kalkspathpolarisator F polarisirt und fallen dann auf das Kalkspathrhomboëder K , welches in dem Apparat befestigt ist, dass sein Hauptschnitt (die Ebene

echt winklig steht zu der geraden Linie, in welcher die beiden ab und gcb zusammenstossen.

Nach K nach dem vorderen Theile des Apparates hinschauend, man nun zwei Bilder von einer jeden der beiden erleuchteten ab und bc , und zwar wird das ordinäre Bild der Fläche ab eil noch über das extraordinäre Bild von bc fallen. Diese Stelle, in welcher das ordinäre Bild von ab und das extraordinäre von bc einander liegen, ist es, deren nähere Untersuchung zu einer Vergleichung der Helligkeit der Flächen ab und bc führt.

Fig. 213.



In Fig. 213 sei mm die Schwingungsrichtung der ordinären Strahlen im Rhomboeder K , also eine Linie, welche mit der Kante parallel läuft, in welcher die beiden Prismen dab und gbc zusammenstossen, so ist nn die Schwingungsrichtung der extraordinären Strahlen. Es sei ferner rr die Schwingungsrichtung der aus dem Polarisator F austretenden Strahlen, welche einen Winkel v mit mm macht.

Bezeichnen wir nun mit i und i_1 die Amplituden der aus dem Polarisator austretenden schwingenden Strahlen, welche von den Flächen ab und bc , so ist

$$i \cos. v$$

des nach mm vibrirenden ordinären Bildes der Fläche ab

$$i_1 \sin. v$$

Amplitude des nach nn schwingenden extraordinären Bildes der Fläche bc . Die Intensitäten dieser beiden rechtwinklig zu einander polarisierten Bilder sind also

$$L = i^2 (\cos. v)^2$$

$$L_1 = i_1^2 (\sin. v)^2.$$

Wenn diese beiden Bilder vollkommen gleich lichtstark, so wird die Stelle, in welcher sie übereinander fallen, keinerlei Polarisation zeigen, was mit Hülfe eines Polariskops leicht erkennen kann. Als Polarimeter dient sich Wild hier derselben Vorrichtung, welche er schon in seinem Polarisationsstrobometer (Lehrbuch, 7. Aufl., I. Bd. S. 914) in Anwendung gebracht hat, nämlich eines kleinen schwach vergrößernden Apparates, vor dessen Objectiv zwei gekreuzte Quarzplatten q und q' eingesetzt sind, deren Oberflächen einen Winkel von 45° mit ihrer optischen Achse bilden, während vor dem Ocular ein Nicol'sches Prisma eingesetzt ist. Sind die beiden fraglichen Bilder gleich hell, so wird man an der Stelle, wo sie übereinander fallen, keinerlei Streifen wahrnehmen, ist das eine Bild lichtstärker als das andere, so erscheinen die Streifen. Durch Wegnahme der Scheibe mm , Fig. 211, und des Polarisators F , also durch

passende Veränderung des Winkels v , kann man aber leicht d. zum Verschwinden bringen.

Zur Messung des Winkels v ist der Umfang der Scheibe m Gradeintheilung versehen, deren Nullpunkt beim Nonius eine die Schwingungsebene des Polarisators F rechtwinklig steht Hauptschnitt des Kalkspathrhomboëders K . Hat man mit Knopfes o den Polarisator F so gestellt, dass die Streifen an verschwinden, wo sich die Bilder von ab und bc überdecken $L = L_1$, also

$$i^2 (\cos. v)^2 = i_1^2 (\sin. v_1)^2$$

oder
$$\frac{i^2}{i_1^2} = (\tan. v)^2.$$

Nun ist aber die Lichtstärke J der bei A eintretenden Strahl proportional dem Quadrat der Amplitude i , also

$$J = ci^2,$$

und ebenso haben wir für die Lichtstärke der bei B eintretend

$$J_1 = c_1 i_1^2.$$

Die Factoren c und c_1 würden vollkommen gleich sein, wenn an Lichtstärke, welchen die Strahlen beim Durchgang durch d p' und qcb erleiden, vollkommen dem Lichtverlust in p und wäre, was aber in der Regel nicht der Fall ist. Wir haben a

$$\frac{J}{J_1} = \frac{ci^2}{c_1 i_1^2}$$

oder
$$\frac{J}{J_1} = C (\tan. v)^2 \dots \dots \dots$$

wenn man $\frac{c}{c_1} = C$ setzt.

Die Grösse des Factors C lässt sich ermitteln, wenn man R , Fig. 211, Licht von gleicher Intensität eintreten lässt, $J = J_1$ ist. Hat man für diesen Fall den Polarisator F so ge die Streifen im Polariskop verschwinden, und den entsprechenden v_1 gemessen, so hat man

$$C (\tan. v_1)^2 = 1.$$

also
$$C = \frac{1}{(\tan. v_1)^2} \dots \dots \dots$$

Zur Bestimmung des Durchsichtigkeitscoefficienten der L nun wird das oben beschriebene Photometer in folgender (Pogg. Ann. CXXXV, 1868). Vor die beiden Oeffnungen des Zimmer aufgestellten Instrumentes P , Fig. 214, werden zwei R und R_1 so aufgestellt, dass ihre Axen gegen einen und Punkt a einer gelben Papierschibe gerichtet sind. Die Pa ist in der Oeffnung eines Fensters aufgestellt, dessen Flügel schließt sich, so dass die Papierschibe sehr gleichförmig durch

Tageslicht erleuchtet ist. Ausserdem aber wird die Scheibe durch ein Uhrwerk um einen unter a liegenden Mittelpunkt in gleichförmige Rotation versetzt.

Die Länge l der Röhren R und R_1 betrug 3,98 Meter, ihr Durchmesser 1 Decimeter. An beiden Seiten war jede dieser Röhren mit einer Platte von Spiegelglas luftdicht verschlossen.

Um alles fremde Licht möglichst vollständig abzuhalten, waren im Innern der Röhren R und R_1 zahlreiche Diaphragmen eingesetzt, welche eine centrale Oeffnung von nur 6 Centimeter Durchmesser hatten. An der Röhre R sind zwei Seitenröhrchen b und c' angebracht; durch b kann das Innere des Rohres R mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, also evacuirt werden, durch c' aber kann man in die entleerte Röhre Luft einströmen lassen, welche zuerst durch einen Trockenapparat und alsdann durch eine Röhre mit Baumwolle gegangen ist, um möglichst allen Staub aus der eintretenden Luft zu entfernen. Die Röhrchen b' und c an dem Rohre R_1 dienen zu dem gleichen Zwecke, um nämlich R_1 evacuiren und dann mit getrockneter filtrirter Luft füllen zu können.

Zwischen der Papierscheibe und den Röhren R und R_1 befindet sich zur Abhaltung fremden Lichtes noch ein Innen geschwärzter, in der Hälfte seiner Länge mit einem in der Mitte durchbrochenen Diaphragma versehener Kasten.

Bezeichnen wir mit I die Lichtstärke, welche das ordinäre Bild von ab (Fig. 211) haben würde, wenn die Luft in der Röhre R gar kein Licht absorbirte, so ist die wirkliche Lichtstärke dieses Bildes

$$J = Ia'$$

wenn a den Durchsichtigkeitscoëfficienten der in R enthaltenen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, und l die Länge der Röhre bezeichnet. Ebenso ist die Intensität des extraordinären Bildes von bc

$$J_1 = Ia_1'$$

wenn a_1 den Durchsichtigkeitscoëfficienten der in R_1 enthaltenen verdünnten Luft bezeichnet.

Setzen wir in Gleichung 1) für J und J_1 ihre oben angeführten Werthe, und für v den Winkel, auf welchen man den getheilten Kreis m einstellen muss, damit die Streifen verschwinden, wenn die eine

Röhre Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, die andere aber verdünnte Luft enthält, so kommt

$$\left(\frac{a}{a_1}\right)^i = C(\text{tang. } v)^2$$

und wenn man für C seinen Werth bei 6) setzt,

$$\frac{a}{a_1} = \left(\frac{\text{tang. } v}{\text{tang. } v_1}\right)^{\frac{2}{i}} \dots \dots \dots$$

wenn v_1 den Werth des Neutralisationswinkels für den Fall bezeichnet, dass beide Röhren Luft von gleicher Beschaffenheit und Dichtigkeit halten. Wenn die Luft in R n mal so dicht als die verdünnte in R_1 , so ist

$$\begin{aligned} a &= a_1^n \\ a_1 &= a^{\frac{1}{n}} \\ \frac{a}{a_1} &= \frac{a}{a^{\frac{1}{n}}} = a^{1 - \frac{1}{n}} = a^{1 - \frac{p}{P}}, \end{aligned}$$

wenn man mit p den Druck der Luft in R_1 und mit P den in R bezeichnet. Aus der letzten Gleichung folgt aber ferner

$$\frac{a}{a_1} = a^{\frac{P-p}{P}}$$

und endlich

$$a = \left(\frac{a}{a_1}\right)^{\frac{P}{P-p}}$$

und wenn man für $\frac{a}{a_1}$ seinen Werth bei 3) setzt

$$a = \left(\frac{\text{tang. } r}{\text{tang. } r_1}\right)^{\frac{2P}{P-p}} \dots \dots \dots$$

Bei einem nach dieser Methode angestellten Versuch erhielt folgende Resultate. Als beide Röhren mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit ($P = 715^{\text{mm}}$) gefüllt waren, ergab sich der entsprechende Neutralisationswinkel $r_1 = 43^\circ$. Als die Röhre R_1 dagegen so verdünnt worden war, dass $p = 40^{\text{mm}}$, ergab sich $r = 42^\circ 49'$. Setzt man diese Werthe von P, p, r und r_1 in Gleichung 4) und ausserdem $i = 1$ so kommt

$$a = 0.99659$$

für den Durchsichtigkeitscoefficienten der in der Röhre enthaltenen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, wenn man 1 Meter als Länge annimmt.

Nach einer Reihe sorgfältig angestellter Versuche ist bei atmosphärischem Druck (auf 1 Meter als Wegeinheit bezogen) der Durchsichtigkeitscoefficient

trockner, möglichst staubfreier Luft	0,99718
„ staubhaltiger Zimmerluft	0,99520
staubfreier, mit Wasserdampf gesättigter Luft	0,99388.

Man sieht daraus, dass der Staubgehalt der Luft ihre Durchsichtigkeit sehr vermindert. Da aber staubfreie trockne Luft durchsichtiger als staubfreie mit Wasserdampf gesättigte, so kann die vermehrte Durchsichtigkeit der Luft bei bevorstehendem Regen oder unmittelbar nach erfolgtem Niederschlag nicht sowohl von der Feuchtigkeit der Luft als solcher, sondern nur daher rühren, dass durch den vermehrten Wasserdampf die Menge des in der Luft suspendirten Staubes und der herumliegenden Pflanzenkeime vermindert wird.

Berechnet man nach dem oben angegebenen Werth den Durchsichtigkeitscoefficienten der staubfreien Luft für die Längeneinheit von 300 Fuss, so erhält man ungefähr

$$a = 0,99718^{300} = 0,434,$$

ein Werth, der noch ungleich kleiner ist, als derjenige, welcher sich mit Berücksichtigung der Pupillenveränderung aus den Schlagintweit'schen Beobachtungen mit dem Saussure'schen Diaphanometer ergibt.

Nach den Wild'schen Versuchen ist also die Lichtabsorption wenigstens in den zunächst über dem Boden ruhenden Luftschichten eine weit bedeutendere, als man bis dahin annehmen zu können glaubte.

Nach vorläufigen Versuchen von Wild ist übrigens der Durchsichtigkeitscoefficient nicht für alle Farben derselbe, er ist kleiner für blaue als für rothe Strahlen.

Durchsichtigkeit und Farbe des Wassers. Die Besprechung der Durchsichtigkeit und der Farbe des Wassers gehört zwar streng genommen nicht in dieses Capitel, dennoch dürfte hier wohl die passendste Stelle dafür sein.

Obgleich das reine Wasser in kleinen Quantitäten vollkommen durchsichtig erscheint, so übt es doch eine bedeutende Absorption auf Lichtstrahlen aus, welche einen etwas längeren Weg im Wasser zurücklegen haben.

Nach Wild's Messungen ist der Durchsichtigkeitscoefficient des Wassers auf 1 Meter als Wegeinheit reducirt (Pogg. Ann. CXXXIV, 368) bei einer Temperatur von 17° C., nach der Filtration durch

Grobes Filtrirpapier	0,5368
Mittelfeines „	0,6491
Feinstes „	0,7978.

Diese Zahlen zeigen, wie bedeutend die Durchsichtigkeit des Wassers durch Staubtheilchen beeinträchtigt wird, welche im Wasser suspendirt sind. Aber selbst für das reinste Wasser ist die Lichtabsorption so bedeutend, dass eine Schicht von 5 Metern Länge ungefähr nur $\frac{1}{2}$ des auffallenden Lichtes, eine Schicht von 300 Metern Länge als gut wie gar kein Licht mehr durchlässt.

Mit wachsender Temperatur nimmt der Durchsichtigkeitscoefficient des Wassers ab. Wild fand denselben, auf 1 Meter Weite bezogen, für destillirtes, durch grobes Papier filtrirtes Wasser

bei 24,4° C. gleich 0,4247,

„ 6,2° C. „ 0,5844.

Daraus erklärt sich nun auch, dass die Farbe des Wassers in Seen und Flüssen im Sommer eine dunklere, gesättigtere Farbe hat als im Winter, und dass ebenso das Wasser des Golfstromes intensiver gelb erscheint als das umgebende Wasser.

Das reine Wasser ist, wie es Bunsen experimentell bewiesen hat, nicht farblos, wie man gewöhnlich annahm, sondern es besitzt von Natur eine rein blaue Färbung. Er beobachtete diese Färbung, als er durch eine 2 Meter lange Wassersäule weisse Porzellanstücke schickte.

Um die Farbe des destillirten Wassers zu beobachten, wandte Pogg. Ann. CXV, 1862) einen aus Guttapercha verfertigten Kasten

Fig. 215.

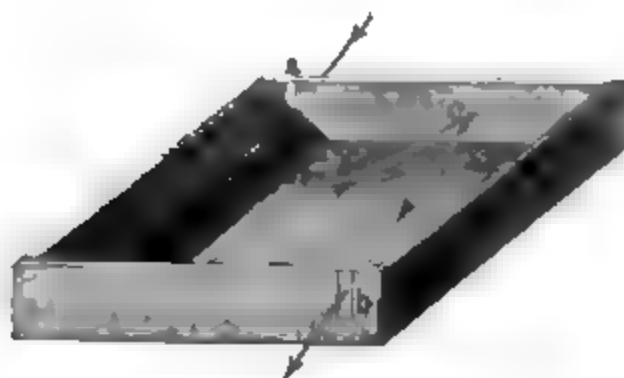


Fig. 215, an, dessen Vorder- und Hinterwand durch dünn geschliffene Glasplatten gebildet ist, welche auf ihrer Innenseite mit einer polirten Silberbelag versehen sind. Der Abstand zwischen beiden Glasplatten betrug 150 Centimeter. An der Hinterwand bei *a*, an der Vorderwand bei *b* ein verticaler Streifen

Belegung fortgenommen.

Man nun ein Bündel Sonnenstrahlen, welches durch den Spiegel des Heliostats reflectirt, in horizontaler Richtung in ein dunkles Zimmer getreten ist, in gehöriger Richtung durch den Spalt bei *a* eintreten wird es nach einmaliger Reflexion an der Vorderwand und nach nochmaliger Reflexion an der Hinterwand, nachdem es also die Länge des Kastens dreimal durchlaufen hat, durch den Spalt bei *b* austreten. Durch entsprechende Drehung des Kastens gegen die einfallenden Strahlen, kann man es dahin bringen, dass die Strahlen bei *b* austreten, nachdem sie die Länge des Kastens fünfmal, siebenmal u. s. w. durchlaufen haben. Fängt man die bei *b* austretenden Strahlen auf einem Schirm

am Papier auf, so erhält man auf demselben ein Bild, dessen eine Hälfte weiss, dessen andere Hälfte aber blau gefärbt ist, wenn man den Apparat bis zur Hälfte seiner Höhe mit destillirtem Wasser füllt.

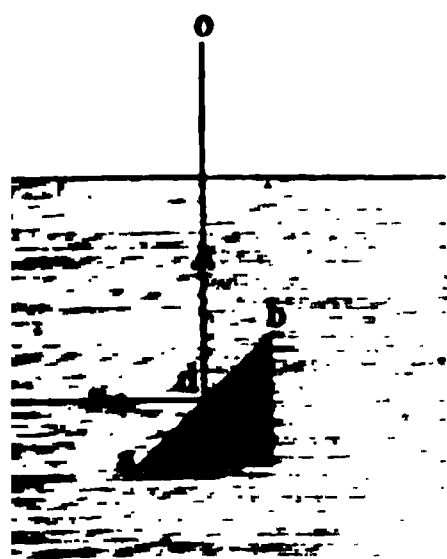
subjectiv lässt sich die Erscheinung beobachten, wenn man den Apparat durch diffuses Licht erleuchtet und beim Spalt b in den Apparat hineinsieht. Man erblickt dann auf der gegenüberliegenden Spiegelreihe gefärbter Bilder des Spaltes a , dessen erstes bei c entsteht, und von Strahlen herrührt, welche die Länge des Kastens dreimal haben, während die folgenden der Reihe nach weiter rechts entstehen. Die Bilder die Länge des Kastens fünf-, sieben-, neunmal durchlaufen, und deshalb der Reihe nach immer dunkler gefärbt er-

Beetz den Kasten mit Wasser aus dem Achensee füllte, erhielt er Bilder des Spaltes a eben so rein blau als bei Anwendung destillirtem Wasser, während das Wasser aus dem Tegernsee eine grüne Färbung zeigte.

Hinderniss für die Reproduction des eben beschriebenen Beetz'schen Apparates dürfte übrigens in der Schwierigkeit liegen, die dazu einen Silber Spiegel zu erhalten; man wird deshalb wohl zu Blechspiegeln etwa 4 Meter Länge seine Zuflucht nehmen müssen, welche an beiden Enden durch Platten von möglichst farblosem Spiegelglas verbunden sind.

Um die Farbe des Lichtes zu beobachten, welches einen längeren Weg in horizontaler Richtung im Wasser des Meeres oder eines Sees zurückgelegt hat, schlug Arago vor, ein mit Luft gefülltes ringsum wasser- und luftdichtes Hohlprisma anzuwenden, dessen Hypotenusenfläche ab , aus geschliffenem Spiegelglas gebildet ist. Wird dies Prisma so in Wasser eingetaucht, dass die Glasfläche

Fig. 216.



in Wasser eingetaucht, dass die Glasfläche ab einen Winkel von 45° mit der Verticalen macht, so werden die in horizontaler Richtung cd auf die Glasplatte fallenden Strahlen hier eine totale Reflexion erleiden und in verticaler Richtung do ins Auge des Beobachters gelangen. Poggendorff meint, es genüge eine Platte von Spiegelglas in der Lage, wie ab , Fig. 216, ins Wasser zu versenken; es müsste aber doch wenigstens die untere Fläche dieser Glasplatte mit einer Reflexion versehen sein, wenn die nach oben reflectirte Lichtmenge nicht zu unbedeutend sein soll.

Beetz setzte eine durch Glasplatten geschlossene, noch mit Luft gefüllte Röhre in der Art unter den Wasserspiegel im Tegernsee auf, dass die obere Glasplatte in die Lage kam, wie ab , in Fig. 216, und er erhielt ein so intensiv smaragdgrünes Licht, wie er es auf

anderem Wege niemals gesehen hatte, im Achensee aber ein Licht, wie wenn es durch eine concentrirte Lösung von Kupferoxyd hindurchgegangen wäre.

Wittstein hat durch chemische Untersuchungen nachgewiesen (Sitzungsbericht der bairischen Akademie, 1860), dass die grüne Farbe des Wassers organischen Beimischungen ihren Ursprung hat. Mit Zunahme derselben geht die blaue Farbe des Wassers in die grüne, und aus dieser, wenn das Blau immer mehr zurückergeht, in die braune über, wie man sie in norddeutschen Landseen und in Seen des Schwarzwaldes wahrnimmt. Die Auflösung organischer Substanzen in Gestalt von Humussäure ist übrigens vom Alkaligehalte abhängig. Wasser ohne Alkali kann die Humussäure nicht auflösen.

Sainte-Claire Deville hat die Beobachtung gemacht, dass Wasser, welche nach der Verdampfung einen weissen Rückstand hinterlassen, blau sind, während diejenigen, deren Rückstand gelb oder braun ist, grün sind.

142 Die allgemeine Tageshelle. Mag nun die unvollständige Durchsichtigkeit der Atmosphäre von den Lufttheilchen selbst oder durch Wasserdämpfe, durch Staub oder Rauchtheilchen her sein, so ist klar, dass jedes Partikelchen, welches einen Theil des fallenden Lichtes aufhält, Veranlassung zu einer Reflexion und Diffusion von Licht bietet. Diese Reflexion und Diffusion des Lichtes innerhalb der Atmosphäre ist die Ursache der allgemeinen Tageshelle.

Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte sie kein Licht reflectiren, das Himmelsgewölbe müsste uns dann schwarz erscheinen, wenn die Sonne über dem Horizonte steht, absolut schwarz, und wo die Sonne nicht unmittelbar hinscheint, müsste vollständige Finsterniss herrschen. Die Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre ist aber so stark, dass bei Tage das ganze Himmelsgewölbe mehr oder weniger lebhaft erleuchtet erscheint, so dass die Sterne vor dem mässigen ausgebreiteten Glanze erbleichen; ja selbst durch das Licht des Vollmondes erscheint das Himmelsgewölbe so stark erhellt, dass nur noch die helleren Sterne sichtbar bleiben.

Diesem durch die Atmosphäre reflectirten Lichte verdankt man die allgemeine Tageshelle, durch welche auch an solchen Orten, welche nicht direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, also in unseren Zimmern eine gleichmässig verbreitete Helligkeit herrscht. Je grösser die Durchsichtigkeit der Luft ist, desto intensiver ist die mittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen und desto geringer die allgemeine Tageshelle. Bei reiner Luft ist auf dem Gipfel hoher Berge der Contrast in der Helligkeit beschatteter Orte und solcher, welche den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, viel bedeutender, als es unter gleichen Umständen in der Tiefe der Fall ist.

Die allgemeine Tageshelle ist am grössten, wenn der Himmel mit ~~blauen~~ faserigen Wölkchen überdeckt ist, weit geringer ist sie bei ganz ~~blauem~~, blauem Himmel.

Die Farbe des Himmels. Wenn der Himmel nicht durch ~~Wolken~~ oder durch einen Nebelschleier bedeckt ist, so zeigt er bekannt-
~~lich~~ eine je nach den Umständen bald hellere, bald dunklere blaue Fär-

Um für die Intensität dieser blauen Färbung eine wenigstens an-
~~nah~~ genaue Messung zu erhalten, construirte Saussure eine Vor-
~~richtung~~ welche er Cyanometer nannte. Durch Anstreichen mit gutem
~~blauem~~ Blau stellte er eine Anzahl von 53 Papieren dar, welche vom
~~hellsten~~ Weiss bis zum gesättigten Blau und von diesem durch Zusatz von
~~schwarzem~~ bis zum vollkommenen Schwarz eine Reihe gleichförmig fortschrei-
~~ender~~ Zwischenstufen bildeten. Von diesen Papieren wurden gleich-
 ~~grosse~~ Stücke ausgeschnitten, und diese auf dem Umfang eines Kreises
~~angebracht~~ klebt. Diese 53 Nüancen von Weiss durch Blau zum Schwarz wur-
~~den~~ Grade genannt, und die Grade wurden von Weiss anfangend gezählt.
Will man die Farbe an irgend einer Stelle des Himmels bestimmen,
hält man das Cyanometer zwischen das Auge und diese Stelle und
sieht, welcher Grad der Färbung des Himmels entspricht. Die Beobach-
tung muss wo möglich im Freien gemacht werden, damit das Cyanometer
hinreichend erleuchtet wird.

Parrot construirte zu dem gleichen Zwecke einen anderen Apparat,
den man Rotationscyanometer nennen kann; es besteht aus einer
~~weißen~~ und einer schwarzen Scheibe, auf welchen man 1, 2, 3... Sec-
~~toren~~ von gesättigter blauer Färbung befestigen kann. Durch rasche
Rotation wird jede Scheibe ein gleichförmiges Ansehen erhalten. Aus
der Anzahl der blauen Sektoren, die man auf die weisse oder die schwarze
Scheibe bringen muss, um eine dem Blau des Himmels gleiche Färbung
zu erhalten, kann man auf den Grad derselben schliessen.

Diese beiden Vorrichtungen sind in mancher Beziehung unbequem
und mangelhaft. Arago machte den Vorschlag, die blaue Färbung,
die doppelbrechende Krystallblättchen bei bestimmter Dicke im po-
larisirten Lichte zeigen, zur Vergleichung mit dem Himmelsblau anzu-
zuwenden. Das Blau solcher Krystallblättchen erreicht nämlich seine grösste
Intensität, wenn das einfallende Licht vollkommen polarisirt ist; je un-
vollständiger aber die Polarisation der einfallenden Strahlen ist, desto
dunkler und mehr dem Weiss sich nähernd wird die blaue Färbung des
Himmels. Aber auch die Herstellung und Ausführung eines auf dieses
Princip gegründeten Cyanometers stösst auf mannigfache Schwierigkeiten
und es scheint bis jetzt wenigstens das Polarisationscyanometer
noch nicht in die Praxis eingetreten zu sein.

Schon eine oberflächliche Betrachtung des heiteren Himmels zeigt
schon, dass die blaue Färbung desselben im Zenith am intensivsten ist, und

dass sie nach dem Horizont hin mehr und mehr weinlich wird einem heiteren Tage fanden Saussure in Genf und Humboldt an Atlantischen Ocean ($16^{\circ} 19'$ nördlicher Breite) für die Bläue des H in verschiedenen Höhen über dem Horizonte folgende Werthe:

Höhe.	Cyanometergrade	
	Humboldt.	Saussure.
1°	3,0°	4,0°
10	6,0	9,0
20	10,0	13,0
30	16,5	15,5
40	18,0	17,5
60	22,0	20,0

Auf den Gipfeln hoher Berge erscheint der Himmel weit dunkler als in den Ebenen. So fand Saussure die Färbung des Zeniths auf dem Col du géant gleich 31° seines Cyanometers, während gleiches Genf nur $22,5^{\circ}$ beobachtet wurden. An einem sehr schönen Tage auf dem Col du géant die Farbe des Zeniths auf 37° ; auf dem G Montblanc wurden sogar 39° beobachtet.

In wärmeren Ländern ist die Farbe des Himmels tiefer als in solchen, welche weiter vom Aequator entfernt liegen; bei gleich geographischer Breite ist der Himmel der Binnenländer blauer, als der Meere und den Küstenländern, was leicht begreiflich ist, wenn denkt, dass das reine Blau des Himmels besonders durch die in der Atmosphäre condensirten Wasserdämpfe, durch feine Nebel, durch winzige den Himmel mit einem leichten Schiefer überziehend durch sehr dicht genug zu sein, zu Wolken zu bilden.

Während das Blau des Himmels offenbar von dem in der Atmosphäre Licht herrührt, wegen Lichtstrahlen, welche eine Weg durch die atmosphärischen Schichten des Luftmeeres zurücklegen, um die Erde zu erreichen, so ist die Farbe des Himmels, welche man von der Erde aus sieht, nicht die gleiche, wie die, welche man von einem hohen Punkte aus sieht, mit einem Worte, die Farbe des Himmels, welche man von der Erde aus sieht, ist eine Mischung aus dem reinen Blau des Himmels und dem gelben Licht, welches von der Sonne oder dem Monde herkommt, und welches in der Atmosphäre zerstreut wird, und welches die Farbe des Himmels bestimmt.

111 Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes. Wie Thales und noch mehr besonders I

sehen die blaue Farbe des Himmels und das Abendroth einfach durch die Annahme zu erklären, dass die Luft vorzugsweise die blauen Strahlen reflectire, dagegen aber die gelben und rothen vollständiger durchlasse als alle anderen.

Nach der Meinung von Forbes (Pogg. Ann. XLVI, 349; XLVII, 593) rührt aber wenigstens die Erscheinung des Abend- und Morgenrothes nicht sowohl von der Luft selbst, als vielmehr von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe her.

Eines Tages stand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch ein Sicherheitsventil eine grosse Menge Dampf entliess; zufällig sah er durch die aufsteigende Dampfsäule nach der Sonne und war überrascht, sie sehr tief orangeroth gefärbt zu sehen. Später beobachtete er noch öfters dasselbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung desselben. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herblies, war dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in grösserer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet war, hörte die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mässiger Dichte war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie warf einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dichte gering war, so war sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos, in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth, wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei grosser Dicke vollkommen undurchsichtig.

Forbes wendet dies zur Erklärung der Abendröthe an. Als reine, blosse, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre letzte Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sich in einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande lässt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, dass das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth; dass Abendroth und Morgengrau die Augen schönen Wetters sind. Gleich nach dem Temperaturmaximum am Tage und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftschichten in verschiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Vor sich aber in Folge dessen der Wasserdampf vollständig verdichtet, verläuft er jenen Uebergangszustand, welcher die Abendröthe erzeugt. Morgens ist es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Processes wahrscheinlich das Roth erzeugt haben würden, steigen nicht so auf, als bis die Wirkung der Sonne lange genug angehalten hat; dann ist aber die Zeit des Sonnenaufgangs vorüber, die Sonne steht schon hoch am Himmel. Das feurige Ansehen des Morgenhimmels rührt von der Anwesenheit eines so grossen Ueberschusses an Feuchtigkeit her,

dass durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken stehen, im Gegensatze mit der Tendenz der steigenden Sonne, sie zu streuen; das Morgenroth ist deshalb als Vorbote baldigen Regens zu trachten. Diese Theorie dürfte wohl durch die in §. 145 mitgetheilten Thatsachen mannigfache Modificationen erleiden.

Clausius hat die Rolle, welche der Wasserdampf bei der Färbung des Himmels spielt, näher untersucht (Pogg. Annal. Bd. 76).

Zunächst sucht er zu beweisen, dass die atmosphärische Refraction weder von feinen, undurchsichtigen, in der Luft schwebenden feinen Partikelchen, noch von massiven Wasserkugeln herrühren könne, sondern dass dieselbe von den zarten in der Luft schwebenden Wasserbläschen abzuleiten sei.

Diese Wasserbläschen verhalten sich nun ganz wie mikroskopische Seifenbläschen: sie werden eine von der Dicke der dünnen Wasserbläschen abhängige Farbe reflectiren: bei der geringsten Dicke, bei welcher eine dünne Schicht überhaupt eine Färbung wahrnehmen lässt, zeigt sich Blau erster Ordnung (Physik. 7. Aufl. Bd. I, S. 792). Wenn nun in der Luft nur solche Wasserbläschen schweben, deren Hörschicht Dicke nicht überschreitet, welche das Blau erster Ordnung liefern müssen sie, nach der Ansicht von Clausius, den Himmel mit dem Blau erster Ordnung überziehen.

Wenn die Luft feuchter wird, so werden die schon vorhandenen Wasserbläschen an Dicke zunehmen, zugleich aber bilden sich von neuem die feinsten Bläschen, so dass dann von einer bestimmten Grösse bis zu den feinsten herab Wasserbläschen von allen Zwischenstufen gleichzeitig in der Luft schweben: es kann deshalb auch der Himmelsfarbton etwa die Farbe irgend einer dickeren Schicht annehmen, sondern das Zusammenwirken aller weiteren Farben, welche die einzelnen Bläschen etwa noch liefern mögen, kann zusammen nur eine weissliche Farbe hervorbringen, welche das reine Blau des Himmels um so mehr verliert, je mehr dickere Bläschen den feineren beigemischt sind.

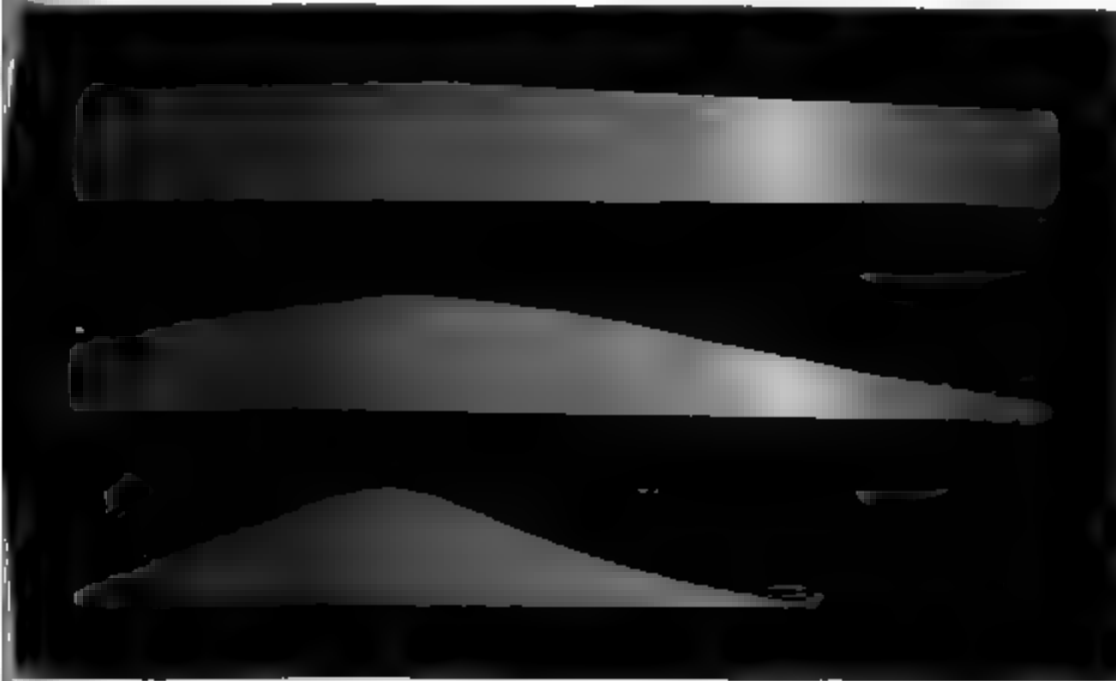
Schon Newton hatte die Ansicht ausgesprochen, dass das Blau des Himmels das Blau erster Ordnung sei, ohne jedoch diese Ansicht auszuführen oder zu begründen, wie dies jetzt von Clausius geschehen ist. Wenn man aber mit Aufmerksamkeit die Farben der Newton'schen Ringe betrachtet, so wird man gestehen müssen, dass in der ersten Ordnung kein Blau vorkommt, welches sich auch nur entfernt dem prachtvollen Blau des Himmels vergleichen liesse. Das Blau der ersten Ordnung ist ein, nur wenig ins Blaue spielendes Weiss; das Schwarze des centralen Fleckes geht durch ein bläuliches Grau in bläuliches Weiss über, welches in Gelblichweiss über. Von dieser Seite also scheint die Theorie von Clausius wohl einer Ergänzung zu bedürfen, um mit den beobachtenden Thatsachen in Uebereinstimmung gebracht zu werden: zu solchen Uebereinstimmung gelangt man aber auf folgendem Wege gehen zu können.

Der oberste Streifen in Fig. 217 zeigt nach der in meinem Lehr-
 der Physik näher erörterten Weise, wie das Blau erster Ordnung
 zusammengesetzt ist. Während das Blau vollständig reflectirt wird, bleibt
 dem zum reinen Weiss gehörigen Violett noch 0,96, von dem zum
 reinen Weiss gehörigen Roth noch 0,83 übrig. Man sieht nun leicht,
 dass in dem Blau erster Ordnung von allen Farben des Spectrums
 so viel übrig bleibt, dass ein entschiedenes Vorherrschen von Blau
 möglich ist.

Wenn aber das Blau erster Ordnung, welches von einem ersten
 Wasserbläschen reflectirt wird, auf ein zweites fällt, so wiederholt sich
 der Vorgang. Bezeichnen wir die Intensität des von dem zweiten
 Wasserbläschen reflectirten Blau mit 1, so ist die Intensität des vom
 ersten Bläschen reflectirten Violett nur noch $0,96^2$ und des vom zweiten
 Bläschen reflectirten Roth nur noch $0,83^2$.

So wird denn bei jeder folgenden Reflexion von einem solchen feinen
 Wasserbläschen der Antheil aller übrigen Farben, welche das Vorherrschen
 des Blau abschwächen können, mehr und mehr verringert. Bezeichnen

Fig. 217



die Intensität des Blau nach zehnmaliger Reflexion (d. h. nachdem
 Lichtstrahlen der Reihe nach von zehn Wasserbläschen reflectirt wor-
 den sind, deren jedes für sich im weissen Lichte Blau der ersten Ord-
 nung zeigt) mit 1, so ist die Intensität des Violett nach zehnmaliger
 Reflexion nur noch $0,96^{10} = 0,66$ und die des Roth nur noch $0,83^{10} = 0,15$.

Der mittlere Streifen in Fig. 217 zeigt die Zusammensetzung der
 Farbe, welche von dem ursprünglich weissen Lichte bleibt, nachdem es
 die Reihe nach von zehn Bläschen reflectirt worden ist, von welchen
 jedes für sich allein im weissen Lichte das Blau erster Ordnung zeigt.
 In gleichem Sinne stellt der unterste Streifen in Fig. 217 das Blau erster
 Ordnung nach 100maliger Reflexion dar.

Man sieht nun leicht, wie durch wiederholte Reflexion des auf dünnen Wasserbläschen, von denen jedes einzelne nur ein ganz weissliches Blau liefern würde, eine sehr intensive blaue Farbe stehen kann, und somit dürfte wohl das Blau des Himmels, was kein einfaches, doch ein gewissermaassen potenzirtes Blau entstanden sein.

145 Atmosphärische Linien. Schon am Schlusse des ersten Bandes meines Lehrbuchs der Physik (7. Aufl.) ist erwähnt, dass bei niedrigem Stande der Sonne im Sonnenspectrum dunkle Linien und Bänder auftreten, welche zur Mittagszeit gar nicht oder schwach sichtbar sind. Es ist dort bereits angeführt worden, dass diese Linien von einer Lichtabsorption in der Atmosphäre herrühren und sie grossentheils durch die Gegenwart des Wasserdampfes in der Luft bedingt sind.

Man kann diese Linien am einfachsten beobachten, wenn man mit einem geradlinigen Spectroskop nach dem durch die unter der Sonne gerötheten Himmel schaut. Man sieht dann, wie das Spectrum Nr. 2 auf Tab. 10 zeigt, in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums dunkle Bänder, von welchen bei höherem Stande der Sonne nicht nur die dunklen Bänder zunehmen, sondern auch die hellen gelben Streifen getrennt erscheinen und von denen das B bezeichnet ist. Fig. 218 ist eine verkleinerte Copie der sorgfältig geführten Abbildung, welche Angström in dem Atlas zu seinen *Recherches sur le spectre solaire* (Upsala 1868) von den atmosphärischen Linien gegeben hat. Das von B zunächst nach dem Roth hin liegende dunkle Band deckt die Fraunhofer'sche Linie D. Selbst wenn die Sonne noch etwas höher steht, so dass die dunklen Bänder und B noch nicht merklich vortreten, erscheint doch schon der Raum zwischen ihnen als ein heller gelber Streif auf etwas dunklerem Grunde.

Der Erste, welcher die Veränderlichkeit der sogenannten atmosphärischen oder tellurischen Linien beobachtete, war Zantedeschi. Ihm haben sich zunächst Brewster und Gladstone mit dem Studium derselben beschäftigt und eine Zeichnung derselben veröffentlicht (Trans. 1860, T. 150). Die beste Abbildung derselben ist ohne Zweifel die bereits erwähnte Angström'sche, deren Copie in Figur 218 gegeben ist.

Janssen fand im Jahre 1864, dass die atmosphärischen Linien am Gipfel des Faulhorn (2660 Meter Höhe) weit weniger intensiv sind, als in der Ebene. Bei Genuß liess Janssen das Nachschutterbaufen von Farnbachs anheben und beobachtete die Linien aus einer Entfernung von 21000 Metern durch ein Spectroskop. Das beobachtete Spectrum zeigte dieselben atmosphärischen Absorptionsstreifen wie das Spectrum der untergehenden Sonne, während ein

in der Nähe beobachtet, ein continuirliches Spectrum liefert. e Beobachtungen stellte auch Secchi in Rom an.

s die atmosphärischen Linien zum grossen Theil wenigstens vom

Wasserdampf in der Luft herrühren, hat Janssen dadurch bestätigt, dass er das Licht von 16 combinirten Gasflammen durch eine 37 Meter lange, an beiden Enden durch starke Platten von Spiegelglas geschlossene eiserne Röhre beobachtete, welche mit gesättigtem Wasserdampf von 7 Atmosphären Spannkraft gefüllt war. Es zeigte sich ein Absorptionsspectrum, dessen dunkle Linien sich sämmtlich unter den tellurischen Linien des Spectrums der untergehenden Sonne wiederfinden, während sich diese Absorptionslinien nicht zeigten, wenn die Röhre nicht mit Wasserdampf, sondern mit trockner Luft gefüllt war.

Angström hat übrigens den Beweis geliefert, dass keineswegs alle mit dem Stande der Sonne veränderlichen und deshalb als tellurische zu bezeichnenden Linien vom Wasserdampf der Atmosphäre herrühren. Im Januar 1864 beobachtete er zu Upsala bei einer Temperatur von -27° C. wiederholt das Sonnenspectrum. Die tellurischen Streifen bei *D*, *C* und α , so wie diejenigen zwischen α und *B*, waren fast vollständig verschwunden, während die Gruppen *A* und *B*, und eine dritte, ungefähr in der Mitte zwischen *D* und *C* gelegene und in unserer Figur mit α bezeichnete, sehr intensiv waren. Dasselbe gilt von dem Absorptionsstreifen δ , links von *D*. Bei genügender Vergrösserung lässt sich der Schattenstreifen δ , wenn er eben merklich zu werden beginnt, in sehr feine Linien auflösen; beim Untergang der Sonne aber vereinigen sich diese Linien und bilden ein zusammenhängendes dunkles Band.

Diese Absorptionsparthieen bei *A* und *B*, α und δ rühren also nicht von Wasserdampf, sondern höchst wahrscheinlich von einem zusammengesetzten permanenten Gase, vielleicht von Kohlensäure her.

In unserer Figur sind die von Wasserdampf herrührenden Absorptionsstreifen am unteren



Rande mit *W*, die übrigen atmosphärischen Absorptionsparthien mit *K* bezeichnet.

Indem die Sonne sich dem Horizonte nähert, schreitet die atmosphärische Lichtabsorption ungefähr in folgender Weise voran. Zu erst verschwindet der violette Theil des Spectrums bis *G*. Während dann die Absorption von *G* gegen das Roth hin fortschreitet, treten dann die besprochenen Absorptionsbänder und Linien in Roth und Gelb auf, zwar um so dunkler werdend, je tiefer die Sonne sinkt. Zuletzt bleibt nur noch die hellen Parthien im Roth und Orange zwischen *B* und *d* und die grüngelbe Parthie unmittelbar links von *δ*; am hellsten bleibt der Zwischenraum zwischen *D* und *δ*.

Durch diese einfachen Absorptionsphänomene erklären sich nun Erscheinungen der Morgen- und Abendröthe weit einfacher, als die übrigen zu diesem Zwecke aufgestellten Theorien.

Fig. 219



Jetzt, nachdem wir das Absorptionsspectrum der Erdatmosphäre kennen gelernt haben, müssen wir noch einmal auf die Spectra Mondes und der Planeten zurückkommen.

Im Spectrum des Mondes erscheinen die atmosphärischen Linien der Erde weder verstärkt noch vermehrt, wie sich zum Voraus erwies, da der Mond nicht von einer Atmosphäre umgeben ist.

Auch im Spectrum der Venus erscheinen die Fraunhofer's Linien völlig unverändert. Dies berechtigt uns aber noch nicht die Existenz einer Venusatmosphäre, auf welche manche andere Erscheinungen hindeuten, in Abrede zu stellen. Möglicherweise wird das Licht der Sonne nicht von der Oberfläche dieses Planeten, sondern von Wolken reflectirt, welche in einer gewissen Höhe über seiner Oberfläche schwirren.

Im Spectrum des Jupiter erscheinen die Absorptionsstreifen der Erdatmosphäre sehr verstärkt, woraus folgt, dass die Atmosphäre des Planeten gleichfalls Wasserdampf enthält. Ausserdem zeigt aber das Jupiters-Spectrum noch einen starken, der Erdatmosphäre fremden Absorptionsstreifen im Roth. Das Spectrum des Saturn ist dem des Jupiter sehr ähnlich.

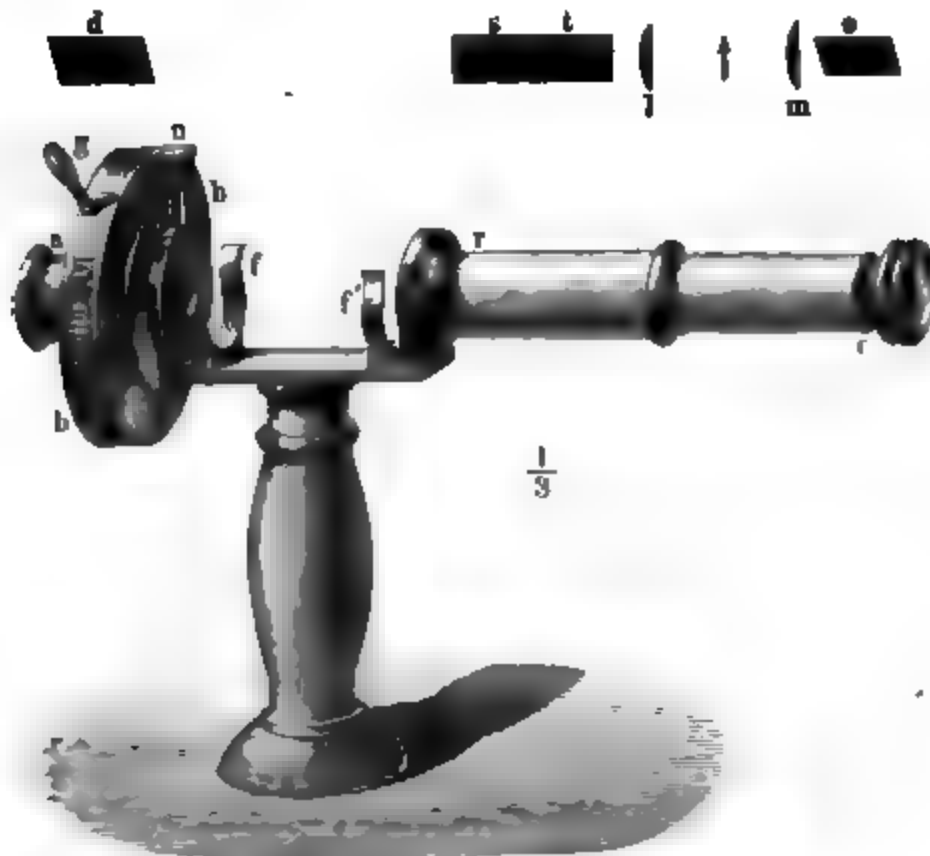
Auch im Spectrum des Mars erscheinen die Erdlinien sehr verstärkt, namentlich gilt dies von den Absorptionsbändern in der Nähe von *B* und *d*. Der Mars hat also eine der Erde ähnliche Atmosphäre; dann aber zeigt das Spectrum des Mars noch starke Absorptionsstreifen in Blau auf.

ie eben besprochenen Planetenspectra sind vorzugsweise von Hug-
untersucht worden. Im Jahre 1869 hat Secchi die Spectra des
is und des Neptun untersucht. Ersteres ist in Fig. 219 darge-
Das Spectrum des Neptun ist dem des Uranus ähnlich, wenn
icht übereinstimmend.

Polarisation des blauen Himmels. Da das Licht, welches 146
end ein Punkt des blauen Himmels gewölbes zusendet, ursprünglich
r Sonne ausgehendes, aber von den einzelnen Lufttheilchen re-
tes Licht ist, so muss es auch die Erscheinung einer partiellen
sation zeigen.

ie Polarisation der Atmosphäre wurde im Jahre 1809 zuerst von
beobachtet. Schon eine einfache parallel mit der Axe geschliffene
linplatte oder ein Nicol'sches Prisma genügt, um die Erscheinung

Fig. 220.



nachten, am schönsten zeigt sie sich aber bei Anwendung des be-
a Lehrbuch der Physik (7. Aufl., I. Bd. S. 884) besprochenen Po-
ops von Savart. Es besteht bekanntlich aus einer Combination
gleich dicker, unter einem Winkel von 45° gegen die optische Axe
ttener, gekreuzter Quarzplatten mit einem Polarisator, also einer
linplatte oder einem Nicol'schen Prisma, dessen Schwingungsebene
Winkel von 45° mit den beiden Schwingungsebenen der Quarz-
macht. Das an dem Apparat Fig. 220 befindliche Rohr *rr* ist nichts
als ein Savart'sches Polarisoskop. Man braucht dasselbe, nach-
von dem Stativ abgeschraubt worden ist, nur gegen einen Punkt

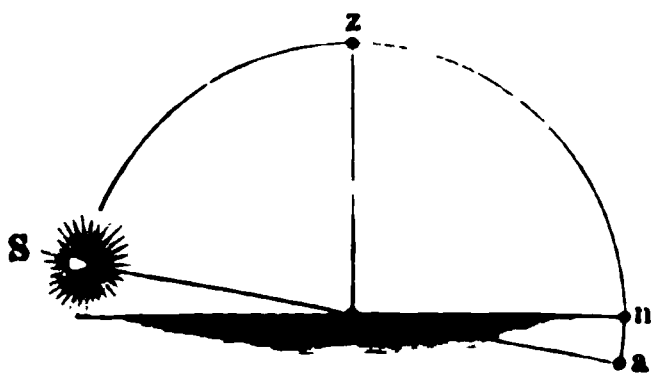
des blauen Himmels zu richten, um die fraglichen Farbenstreifen zu sehen, deren Intensität zu- oder abnimmt, wenn man das Rohr bei unveränderter Richtung um seine Axe dreht. Hat man nun das Rohr so gedreht, dass bei schwarzem Mittelstreifen (vorausgesetzt, dass die beiden Quarzplatten s und t genau gleich dick sind) die Curven möglichst kräftig erscheinen, so steht die Schwingungsebene des Nicols rechtwinklig auf der Schwingungsrichtung der vom beobachteten Punkte des Himmels kommenden Strahlen. Dreht man von dieser Stellung aus das Rohr um seine Axe, so werden die Streifen blasser und verschwinden, wenn man um 45° gedreht hat. Dreht man noch weiter, so erscheinen die Streifen wieder, ihre Farben sind aber complementär zu den zuerst beobachteten, und diese complementären Streifen mit Weiss in der Mitte erreichen ihre grösste Lichtstärke, wenn die Schwingungsebene des Nicols parallel ist mit der Schwingungsebene der einfallenden Strahlen.

Wenn man nun mit diesem Instrumente das Licht solcher Punkte des blauen Himmels untersucht, welche nicht zu nahe am Horizonte liegen, so findet man, dass die Schwingungen des Lichtes, welches sie auszusenden, rechtwinklig sind zu der Ebene, welche man sich durch den betrachteten Punkt des Himmels durch das Auge des Beobachters und die Sonne zerlegt denken kann, wie sich dies nach den Gesetzen der Polarisation nicht anders erwarten liess. Wir wollen diese Lage der Schwingungsebene als positive Polarisation bezeichnen.

Untersucht man zur Zeit des Sonnenunterganges das Licht des Himmels in der durch die Sonne und das Zenith gelegten Verticalebene, so findet man, dass die Polarisation in der Nähe der Sonne äusserst schwach ist, dass sie aber mit der Entfernung von der Sonne stärker wird und in einem Abstände von 90° von der Sonne ihr Maximum erreicht, um jenseits dieses Punktes wieder bis zu einem von Arago aufgefundenen neutralen Punkte abzunehmen, der übrigens nicht mit dem der Sonne diametral gegenüberliegenden antisolaren Punkte zusammenfällt, sondern nach Arago's Bestimmungen 20 bis 30° über demselben liegt.

Nach Brewster's Beobachtungen ändert sich die Entfernung des

Fig. 221.



Arago'schen neutralen Punktes von dem antisolaren mit dem Stande der Sonne. Wenn die Sonne noch $11\frac{1}{2}^\circ$ über dem Horizonte steht, der antisolare Punkt a , Fig. 221, also $11\frac{1}{2}^\circ$ unter dem Horizonte liegt, so liegt der neutrale Punkt gerade im Horizonte. Wenn die Sonne eben untergeht, so

beträgt der Abstand zwischen dem antisolaren Punkte a , Fig. 222, und dem neutralen n $18\frac{1}{2}^\circ$; gegen Ende der Dämmerung, wenn also die Sonne unter den Horizont gesunken ist, beträgt der Abstand zwischen den Punkten a und n , Fig. 223, 25 Grad.

Während die Polarisation der Strahlen vom Zenith bis zum neutralen Punkt eine positive ist, d. h. während die Schwingungsebene der betreffenden Strahlen eine horizontale ist, ist die Polarisation der Strahlen, welche von Punkten zwischen n und dem Horizonte kommen, negative, d. h. die Schwingungsebene dieser Strahlen ist vertical. In der durch die Sonne gelegten Verticalebene hat Babinet einen neutralen Punkt b aufgefunden, welcher ungefähr eben so hoch über der Sonne steht, wie n über a , einen dritten eben so tief unter der Sonne stehenden, aber sehr schwer zu beobachtenden, neutralen Punkt endlich Brewster aufgefunden.

Fig. 222.

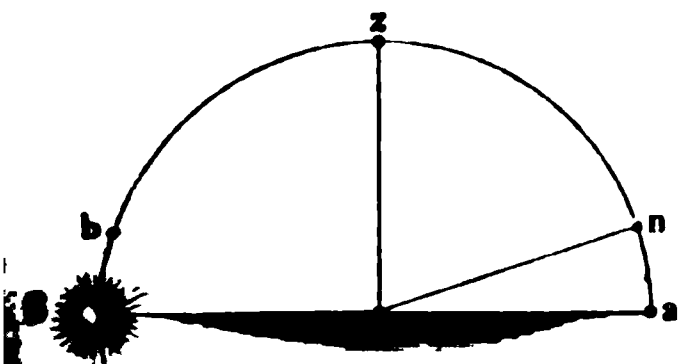
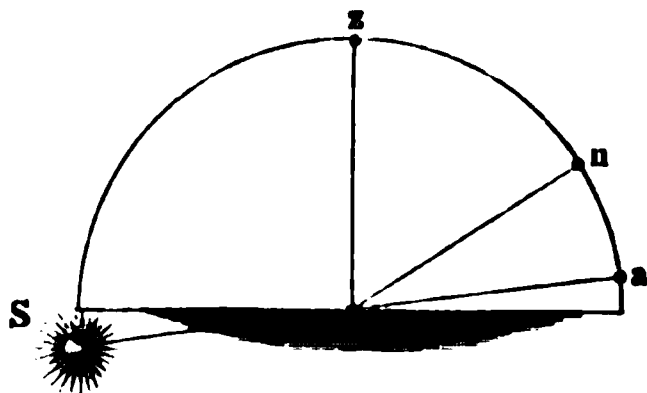


Fig. 223.



Die Existenz der neutralen Punkte sowohl, wie auch die negative Polarisation des Himmels in der Nähe des Horizontes (Zusammenfallen der Schwingungsebene der Strahlen mit der Ebene, welche man durch Sonne, das Auge und den tiefliegenden Punkt des Himmels zerlegen kann, von dem die Strahlen kommen) erklärt sich durch die sekundären Reflexionen, welche das Licht in der Atmosphäre erleidet. Das Licht, welches uns irgend ein Punkt des Himmels zusendet, ist zum Theil direct reflectirtes Sonnenlicht, und dieses ist stets positiv polarisirt (Schwingungsebene rechtwinklig zu der durch die Sonne, das Auge und den beobachteten Punkt gelegten Ebene), zum Theil aber auch Licht, welches bereits von anderen Punkten des Himmels reflectirt worden ist und hier eine abermalige Reflexion erleidet. Die wiederholt in der Atmosphäre reflectirten Strahlen werden aber zum Theil negative Polarisation zeigen. Für höhere Punkte des Himmels herrscht die positive, für die, welche dem Horizonte näher liegen, herrscht die negative Polarisation vor.

Es versteht sich von selbst, dass alles oben Gesagte nur vom unbewölkten Himmel gilt. Wolken zeigen keine Polarisation, und bedeutende Wolkenmassen stören auch den Polarisationszustand des übrigen Himmels.

Hagenbach hat die Beobachtung gemacht, dass nicht allein das Licht des blauen Himmels, sondern auch das Licht polarisirt ist, welches die von der Sonne erleuchteten Luftschichten zusenden, welche zwischen uns und entfernten Gebirgszügen liegen. Diese Polarisation zeigt sich immer sehr deutlich, wenn der Hintergrund dunkel und die zwischenliegende Luftschicht nicht zu klein ist. Wenn das entfernte Gebirge

durch die Wirkung des reflectirten Lichtes der zwischenliegenden schichten undentlich geworden ist, so lassen sie sich mit Hülfe passend gestellten Nicol'schen Prismas, welches einen Theil der Luftschicht reflectirten Strahlen wegnimmt, viel deutlicher sichtbar. Diese Wirkung des Nicols zeigt sich ebenso gut, man mag nun mit Auge oder durch ein Fernrohr beobachten. Von dem Christ (auf dem rechten Rheinufer bei Basel) aus konnte Hagenbach: schönen Tage die Berner Alpen kaum wahrnehmen, sie wurden deutlich und scharf sichtbar, als er ein Nicol vor das Ocular des Fernrohrs brachte.

- 147 **Die Polaruhr.** Eine sehr sinnreiche Anwendung der Polarisation des blauen Himmels ist Wheatstone's Polaruhr, mittelst der aus der Lage der Polarisationsebene des sichtbaren Poles das bei uns also des Nordpols, auf die Zeit geschlossen kann.

Im Wesentlichen ist diese Polaruhr nichts anderes, als ein den Himmelpol gerichtetes und um seine Axe drehbares Fernrohr, welches so gefasst ist, dass man die Drehung desselben an einem

Fig. 224.



sprechend
Kreise ablesen
Ermangelung
seren Modells
nur 224 das
die Einrichtung
laruhr zu erklä
ist das Rohr
lariskops, an
bei c das t
undrehbar gef
festigt ist. In
steckt in der
und kann in
frei um seine
dreht werden.
einem passen
befestigte Hül
einen getheil
über dessen
sich ein am
befestigter Ze
bewegt, wenn
ab gedreht

Fig. 223 zeigt einen in Natur zu Vertheilungen getheil
mit dem tragbaren Lager in welchem Manusk. der Fig. 224

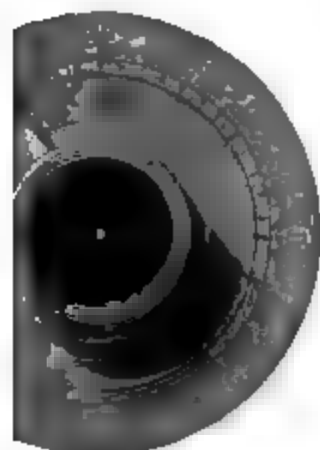
Die Polarisation des Lichtes des Himmels ist stets posi

gungsebene der Strahlen, welche uns der Nordpol des Himmels ist rechtwinklig zu dem jeweiligen Stundenkreise der Sonne.

der Zeiger so an dem Rohre *ab* befestigt ist, dass er in die Ebene des Ocularnicals fällt, so werden die Farbenstreifen des Polarisirkops mit schwarzem Mittelstreifen möglichst scheinbar, wenn das Rohr *ab* so gedreht ist, dass der Zeiger in des Stundenkreises der Sonne zu liegen kommt.

Um 6 Uhr muss demnach der Zeiger eine horizontale, Mittags um 12 Uhr muss er eine verticale Stellung haben. Die beiden

Fig. 225.



Theilstriche, welche in die durch den Mittelpunkt der Theilung gelegte Horizontale fallen, sind mit 6 bezeichnet; von demjenigen dieser beiden Punkte, welcher bei richtiger Aufstellung des Instrumentes auf der Ostseite liegt, sind die Stunden von 6 weiter gezählt bis zum obersten Theilstrich der Theilung, welcher mit 12 bezeichnet ist; auf dem folgenden Quadranten von 12 bis zum westlichen 6 sind dann die Nachmittagsstunden 1, 2, 3 etc. aufgetragen.

er die Sonne im Sommer vor 6 Uhr Morgens auf- und erst am Abend untergeht, und da man den Polarisationszustand des Himmels schon in der Morgen- und Abenddämmerung bemerkt, ehe noch die Sonne selbst über dem Horizont steht, so ist die Theilung auf der Ostseite des Kreises auch schon um einige Stunden vor 6 Uhr Morgens und ist bis auf einige Stunden nach 6 Uhr abgesetzt.

Die Neigung des Rohres *ab* gegen die Horizontale lässt sich beliebig ändern, und die Grösse dieser Neigung lässt sich auf dem Gradbogen *lm*

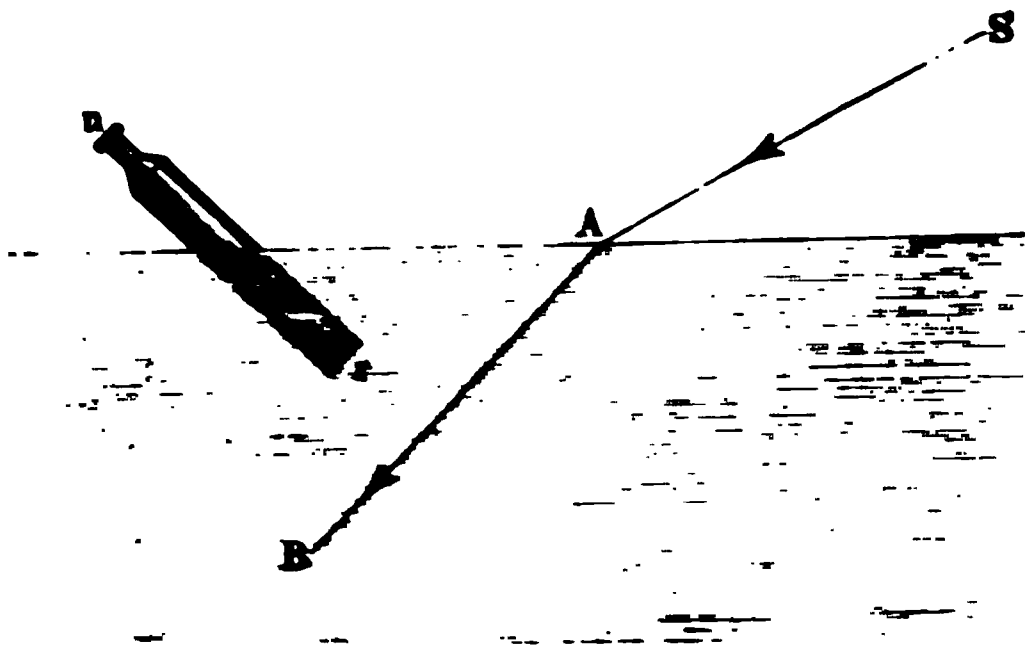
des Instrumentes wird nun so aufgestellt, dass die Verticalebene des Instrumentes den Meridian des Beobachtungsortes fällt, und dann das Rohr *ab* so gedreht, dass der Winkel, welchen es mit der Horizontalen macht, gleich der Höhe des Beobachtungsortes; kurz, man stellt es so auf, dass das Rohr *ab* gerade gegen den Nordpol des Himmels gerichtet ist. Nun dreht man das Rohr *ab* um seine Axe innerhalb der Hülse *df* umgedreht, bis die Farbenstreifen möglichst scharf erscheinen, und dann die entsprechende von dem Instrumente angedeutete Zeit auf dem getheilten Kreise abgelesen.

148 Polarisation des blauen Wassers. Sorot hat die interes-

sung gemacht, dass auch das Licht des von der Sonne erhellten blauen Wassers der Seen polarisirt ist. Der Apparat, dessen Zweck es war, diese Thatsache zu constatiren, war ein Rohr *nr*, dessen Objectivende durch eine wasserdicht eingesetzte Platte

von Spiegelglas geschlossen war, während ein Nicol'sches Prisma an Ocularende der Röhre bildete. Taucht man nun an einer Stelle, an welcher das Wasser so tief ist, dass man den Grund nicht mehr sehen kann das Objectivende des Rohres in das Wasser, wie Fig. 226 zeigt, so kann man die Polarisation des durch die Sonnenstrahlen erleuchteten Wassers beobachten, wenn man, in das Rohr hineinschauend, das Nicol um seine Axe dreht. Soret hat seine Versuche im Genfersee angestellt, das Wasser bekanntlich durch eine wunderbar schöne blaue Farbe ausgezeichnet ist.

Fig. 226.



Wenn bei ruhigem Wetter die Oberfläche des Wassers möglichst eben ist, so werden die parallel mit S.A. Fig. 226. einfallenden Sonnenstrahlen auch parallel mit AB in das Wasser eindringen. Man beobachtet nun ein Maximum von Polarisation, wenn das Rohr winklig steht zu der Richtung AB der in das Wasser eingedrungenen Sonnenstrahlen, also am einfachsten, wenn bei entsprechender Neigung des Rohres die durch seine Axe gelegte Verticalebene mit der Verticalebene der Sonne zusammenfällt.

Die Polarisationsebene der unter diesen Umständen in das Rohr einfallenden Lichtstrahlen fällt mit dieser Verticalebene zusammen. Vibrationsrichtungen, welche diese Strahlen fortzuführen gehen also in horizontaler Richtung, rechtwinklig zu der besprochenen Verticalebene vor sich.

Je mehr die Oberfläche des Wassers bewegt ist, desto unvollständiger wird die Polarisation, weil hier die Sonnenstrahlen nicht parallel unter sich verlaufen und die verschiedenen Richtungen des Wassers einschlagen. Wenn die Sonne nicht scheint, so auch keine Polarisation wahrzunehmen, weil in diesem Falle das Wasser von veränderlichem Sonnenlicht gleichmäßig stark erleuchtet ist. Auch bei klarem Sonnenschein ist die Polarisation des Wassers doch nicht vollständig, weil die directen Sonnenstrahlen nicht die einzige Erleuchtungsquelle bilden.

Hagenbach fand durch Versuche, welche er im Luzerner See anstellte, die Beobachtungen Soret's vollkommen bestätigt. Nachdem er ein Rohr in die dem Maximum der Polarisation entsprechende Lage, Fig. 226, gebracht und seine Stellung gegen den Kahn fixirt hatte, liess er den Kahn langsam eine Drehung um seine verticale Mittellinie machen. Dabei nahm die Stärke der Polarisation allmählig ab und verschwand endlich ganz, nachdem die Drehung bis auf 180° gewachsen war.

Die eben besprochene Polarisation rührt jedenfalls von einer Reflexion des Lichtes im Inneren des Wassers her, und überwiegt bedeutend die schwache zu ihr rechtwinklige Polarisation, welche durch die Brechung in das Wasser eintretenden Strahlen ertheilt wird.

Soret nimmt an, dass sowohl die Farbe als auch die Polarisation aus dem Wasser austretenden Lichtes von der Reflexion an der Oberfläche kleiner, im Wasser suspendirter Partikelchen herrühre, während Hagenbach annimmt, dass sie wenigstens zum Theil durch einfache Reflexion an der Gränze ungleich erwärmter Wasserschichten bedingt werden könne. Durch Reflexion an der Gränze ungleich erwärmter Luftschichten liesse sich dann auch das blaue Licht und die Polarisation des Himmelsgewölbes erklären.

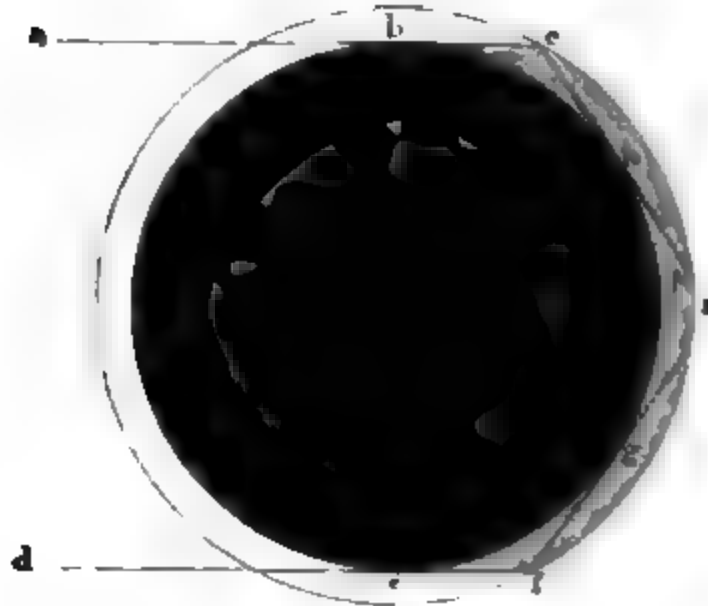
Die Dämmerung. Wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, so würde gleich nach Sonnenuntergang eine vollständige Finsterniss eintreten; allein vor Sonnenaufgang sowohl als auch nach Sonnenuntergang ist über die Erdoberfläche eine namhafte Zeit hindurch eine ziemliche Helligkeit verbreitet, welche lediglich von einer Reflexion und Diffusion des Lichtes in der Atmosphäre herrührt.

Man rechnet gewöhnlich die Dauer der Abenddämmerung von Sonnenuntergang bis zu der Zeit, zu welcher man aus Mangel an Helligkeit die Kerzen im Freien einstellen muss, oder bis zu dem Zeitpunkte, in welchem man in einem ziemlich freiliegenden Hause die Kerzen anzuzünden beginnt. Es ist dies der Fall, wenn die Sonne ungefähr bis zu 6° unter den Horizont hinabgesunken ist. Die astronomische Dämmerung dauert aber länger als die eben definirte bürgerliche; sie dauert nämlich bis zu der Zeit, in welcher der letzte Schein der Helligkeit am westlichen Himmel verschwindet, und dies ist so ziemlich der Fall, wenn die Sonne bis zu 18° unter den Horizont hinabgesunken ist.

Fig. 227 (a. f. S.) stelle einen centralen Durchschnitt der Erde und der Atmosphäre dar; ac und df seien Sonnenstrahlen, welche den Erdkern in zwei diametral einander gegenüberstehenden Punkten treffen, so ist klar, dass bc und fe derjenige Theil der Atmosphäre ist, welcher nicht von den Sonnenstrahlen getroffen wird. Denken wir uns von den äussersten noch von der Sonne erleuchteten Punkten c und f der Atmosphäre die Tangenten ch und fg an die Erdkugel gezogen, so sind b und g diejenigen Punkte, bis zu welchen sich die astronomische Dämmerung erstreckt; denn für alle Punkte der Erdoberfläche zwischen b

und h sowohl, wie zwischen e und g , befindet sich noch ein Theil von den Sonnenstrahlen erleuchteten Atmosphäre über dem b . In unserer Figur ist nun die Atmosphäre im Verhältniss zum

Fig. 227.



messer der Erde hoch angenommen und deshalb ist in der Zeichnung der Dämmerungsbogen ausgefallen, in der Wirklichkeit ist in der That betriebs wir oben gesehen die Grösse dieses nur ungefähr 18° .

Die Gränze zwischen noch durch Sonnen direct erleuchteten im Schatten befindlichen Theile der Atmos

natürlich eben so wenig genau bestimmbar, wie die obere Gränze der Atmosphäre überhaupt; doch lässt sich aus dem mittleren Weite des Dämmerungsbogens wenigstens annähernd die Höhe der Atmosphäre bestimmen; aus einem Dämmerungsbogen von 18° ergibt sich nämlich die Atmosphäre eine Höhe von ungefähr 9 geographischen Meilen; diese Höhe hinaus ist wenigstens die Atmosphäre schon in einem Grade verdünnt, dass sie keine merkliche Reflexion des Lichtes wirken kann.

Die Dauer der Dämmerung ist für verschiedene Gegenden sehr ungleich; unter dem Aequator ist sie am kürzesten, sie wird länger, je mehr man sich den Polen nähert.

Die Fig. 228 dient, um diese Verhältnisse anschaulicher zu machen; sie stellt nämlich die Erdkugel in ihren Beleuchtungsverhältnissen zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche dar.

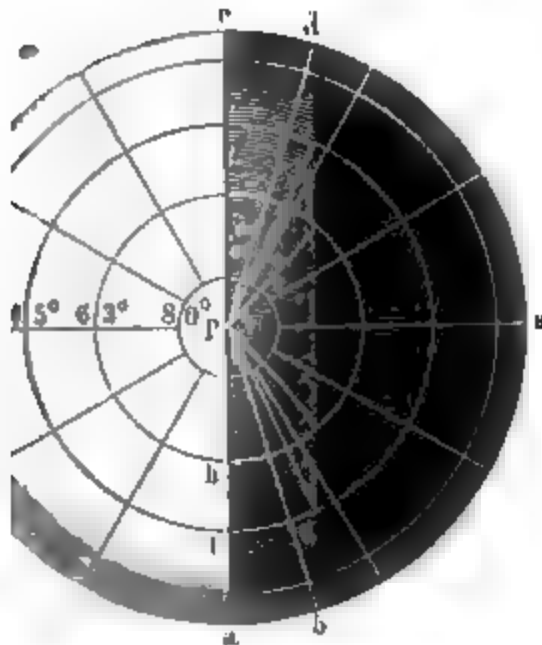
Der Kreis $csar$ ist der Erdäquator, welcher mit der Ebene des Papiers zusammenfällt; p ist der Nordpol der Erde; die Erdaxe ist durch p verkürzt. Die in unserer Figur gezogenen concentrischen Kreise stellen die Parallelkreise von 23° , 45° , 63° und 80° nördlich dar. Der zur Linie verkürzte grösste Kreis cpa ist derjenige, der die direct erleuchtete von der beschatteten Erdhälfte trennt (wobei der Einfluss der atmosphärischen Refraction unberücksichtigt gelassen). Macht man den Bogen cd gleich 18° , zieht man db parallel mit der zur Linie verkürzten Kreis db derjenige, bis zu welchem die astronomische Dämmerung erstreckt; $cdba$ ist der Dämmerungsbogen.

Ein jeder Punkt der Erdoberfläche geht nun in Folge der Rotation der Erde in 24 Stunden zweimal durch diesen Däm

ndurch, und es ist leicht einzusehen, dass die Dauer des Ver-
n demselben von der geographischen Breite des Ortes abhän-

einen Punkt des Erdäquators dauert die astronomische Dämme-

Fig. 229.



rung so lange, als er braucht,
den Bogen *ab* zu durchlaufen.
Dieser Bogen beträgt aber 18° ;
folglich ist die entsprechende
Zeitdauer 72' oder 1 Stunde
12 Minuten.

Für einen Ort, welcher auf
dem 45. Breitengrade liegt,
dauert die astronomische Däm-
merung so lange, als er braucht,
um den Bogen *fg* zu durch-
laufen, also nahezu 2 Stunden,
da der Winkel *fpq* gleich 30°
ist.

Auf dieselbe Weise ergibt
sich, dass für den 63. Breiten-
grad die Dauer der astrono-

Dämmerung ungefähr 3 Stunden beträgt.

Ort auf dem 80. Breitengrade gelangt gar nicht mehr bis an
tgränze des Dämmerungsgürtels; zur Zeit des Aequinoctiums
iso für ihn die Dauer der Dämmerung volle 12 Stunden.

Dauer der bürgerlichen Dämmerung beträgt ungefähr $\frac{1}{3}$ von
astronomischen; die bürgerliche Dämmerung betrüge demnach
des Aequinoctiums:

- auf dem Aequator etwas über $\frac{1}{3}$ Stunde,
- auf dem 45. Breitengrade ungefähr $\frac{2}{3}$ Stunde,
- auf dem 63. Breitengrade ungefähr 1 Stunde,
- auf dem 72. Breitengrade ungefähr 2 Stunden.

Unterschied in der Dämmerungsdauer für verschiedene Breiten
in der That noch grösser, als er sich aus den eben durchge-
etrachtungen ergibt, weil das Ende der Dämmerung nicht allein
Tiefe der Sonne unter dem Horizonte, sondern auch durch den
der Atmosphäre bedingt ist. Je durchsichtiger und reiner die
to kürzer ist die Dämmerung, während sie durch zarte in der
webende Nebel verlängert wird. So ist denn für einen und den-
rt die Dauer der Dämmerung sehr veränderlich. Diejenigen
1, welche sich eines tief blauen Himmels erfreuen, werden eine
smässig kurze Dämmerung haben. In Chili dauert die Dämme-
 $\frac{1}{4}$ Stunde, zu Cumana ist sie noch kürzer.

haben oben die Dämmerungsverhältnisse für die Zeit der Aequi-

noctien betrachtet; im Sommer sowohl als im Winter wird, wie sich durch eine einfache geometrische Betrachtung nachweisen lässt, die Dämmerungsdauer für alle Breiten etwas grösser.

150 Luftspiegelung. Wenn man entfernte Gegenstände betrachtet, so sieht man bisweilen ausser den directen noch umgekehrte Bilder derselben. Diese Bilder, welche ohne sichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man Luftbilder.

Wir wollen uns zunächst mit dieser Erscheinung beschäftigen, wie sie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welche sich zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine grosse Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich; sobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur Theil nehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternde Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heissen Sommertagen beobachtet wird. Wenn kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände; unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, dass alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seien. Ermüdet durch fortwährende Märsche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft, liefen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer blieb vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen Gegenstände der Erde zeigte. Die Soldaten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls wie das ganze Heer getäuscht; aber die Täuschung war von kurzer Dauer.

In dem englischen Reisewerke „Scenes in Ethiopia drawn and described by J. M. Belzoni, London 1822“ finden sich ausgezeichnete bildliche Darstellungen dieses merkwürdigen Phänomens, welches auch in

lichen Theil von Abessinien häufig gesehen wird. Tab. XV. ist die Abbildung eines solchen Luftspiegels, welchen Bernatz im Thal Dullul beobachtete. Das ganze 3 bis 4 englische Meilen breite und 18 Meilen lange Thal erschien wie mit einem herrlichen See bedeckt, aus dessen Mitte eine Felseninsel hervorragte.

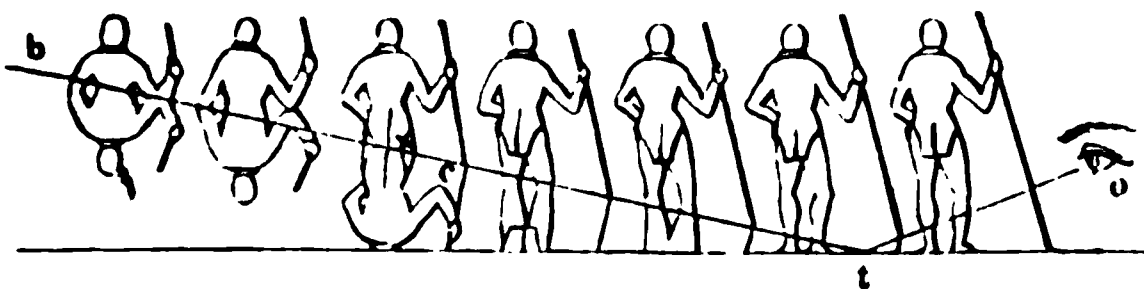
Karavanen, welche durch das Thal dahinziehen, sind durch den Luftspiegel ganz unsichtbar, und wenn sie sich dem Rande des scheinbaren Spiegels nähern, sieht es aus, als ob sie förmlich im Wasser wateten, indem der obere Theil der Körper der Thiere und Menschen über den Spiegel sichtbar wird, während der untere Theil noch unsichtbar bleibt.

Der Luftspiegel verschwand, wie Bernatz berichtet, wenn ein Schatten über denselben hinzog, und das ganze Thal sammt allen umgebenden Bergen erschienen alsdann in ihrem natürlichen Zustande; sobald er aber vorüber war und die Sonne wieder schien, zeigte sich der Luftspiegel wieder in voller Klarheit.

Bernatz machte ferner die interessante Beobachtung, dass der Luftspiegel steigt, wenn der Beobachter auf den Bergen, welche das Thal umschliessen, hinaufsteigend sich mehr und mehr über die Thalsohle erhebt, so dass endlich der ganze Felsen, welchen wir in der Mitte unseres Spiegels sehen, vollkommen unter den Luftspiegel untertaucht und für das Auge verschwindet.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, dass unter gewissen Umständen einem Punkte t , Fig. 229, aus, welcher sich in einiger Entfernung vom Beobachter befindet, man sich eine Linie tcb gezogen denken

Fig. 229.



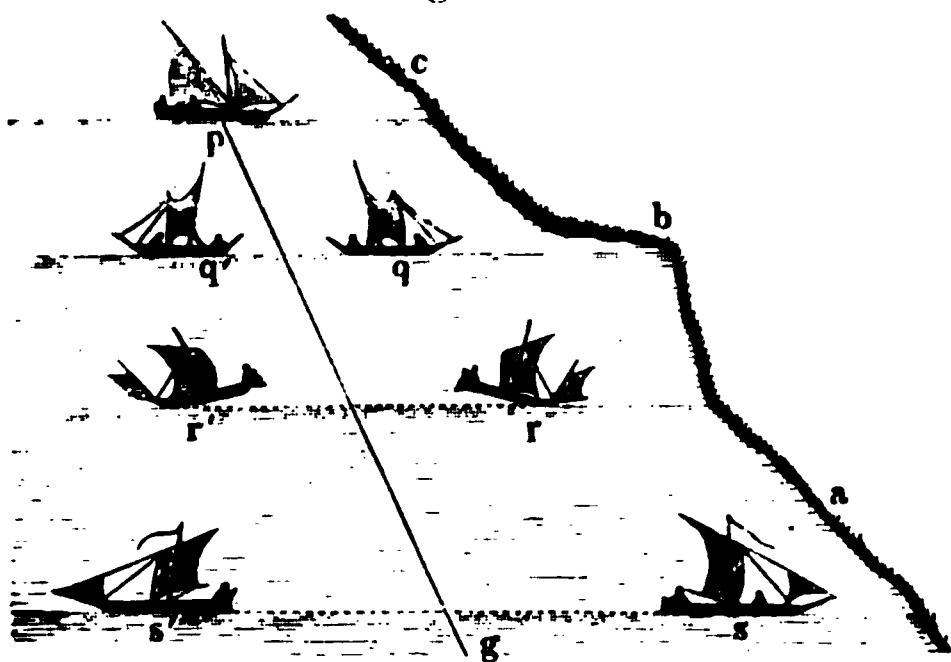
, so dass alle Gegenstände, welche sich unter derselben befinden, sichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, eines über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmählig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach verschiedenen in Fig. 229 dargestellten Erscheinungen geben.

Offenbar gehört hierher auch eine Erscheinung, welche man manchmal an Orten beobachtet, für welche der westliche Horizont frei ist und welche darin besteht, dass man die untergehende Sonne doppelt sieht, dass man zwei in verticaler Richtung etwas abgeplattete Bilder der Sonne sieht, von welchen das eine gerade unter dem anderen liegt.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Sor Jurine auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seitwärts vom stande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stock Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung Fig. 230, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung zwei Meilen dem Vorgebirge Belle-Rive gegenüber befand und Genf segelte. Während das Schiff allmählig nach q , r und s kam, sahen sie ein deutliches Bild zur Seite in q' , r' , s' , welches sich wie das selber näherte, während die Entfernung des Schiffes und seine grösser wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das hell, dass man es mit blossen Augen sehen konnte.

Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass die Luft über

Fig. 230.



am östlichen Ufer
Morgens noch ein
im Schatten war,
sie weiter links sch
die Sonne erwärmt
so konnte die Tre
fläche der warmen
ten Luft bis zu ei
ringen Höhe üb
Wasser vertical sei
Folgendes ist di
rung, welche Mor
diesen Luftbildern
und in den „Mém

l'Institut d'Egypte“ bekannt gemacht hat:

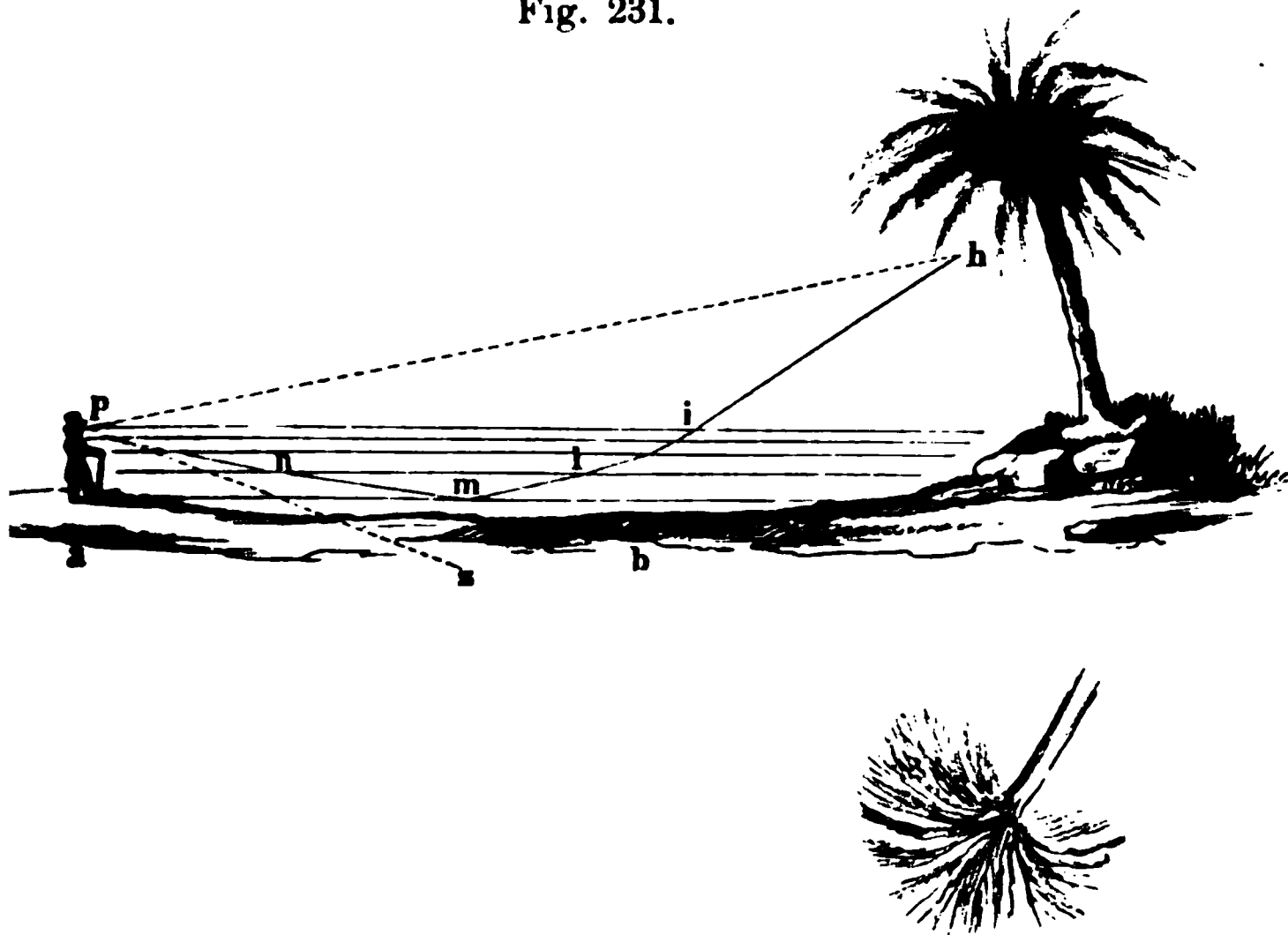
Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es möglich, unteren Luftschichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine größere Dichtigkeit besitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden gebreitet bleiben und nicht aufsteigen. Dies vorausgesetzt, Figur 231, der horizontale Boden, h irgend ein erhabener Punkt wollen nun untersuchen, auf welche Weise das Licht von h ins Auge des in p befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächst dass das Auge ein directes Bild des Punktes h in der Richtung hp sieht, die Strahlen werden zwar nicht in einer absolut geraden Linie nach p gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, höchstens eine geringe Hebung oder Senkung des directen Bildes stehen kann.

Unter den Strahlen, welche der Punkt h nach allen Richtungen sendet, sind aber auch solche, welche den Weg $hilmnp$ verfolgen, welche also in der Richtung pz ins Auge gelangend ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl hi , wenn

a weniger dichte Luftschicht trifft, so gebrochen werden, dass er sich
 a Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe
 fern, wenn er auf die nächste, abermals weniger dichte Luftschicht
 k u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schräger,
 sie endlich aus der Schicht, in welcher sie sich befinden, nicht mehr
 eine noch dünnere übergehen können; sie werden reflectirt und ge-
 gen in der Richtung mnp in das Auge.

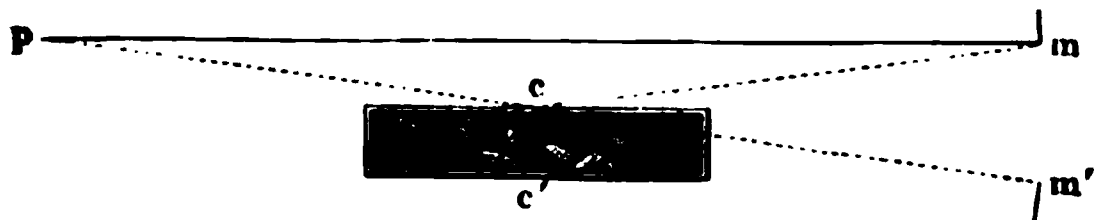
In unserer Figur ist der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie
 ichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftschichten nach dem
 en hin allmählig abnimmt, so werden auch die Strahlen allmählig ab-
 akt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Fig. 231.



Der folgende Versuch mag dienen, diese Erklärung zu erläutern,
 sich er nur eine schwache Nachahmung der Luftspiegelung ist. Es
 c', Fig. 232, ein Kasten von Eisenblech, ungefähr 1 Meter lang,
 is 18 Centimeter hoch und breit; er wird mit glühenden Kohlen

Fig. 232.



alt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun
 a über die obere Fläche des Kastens hinsieht, so erblickt man in der
 atung pm das directe, in der Richtung pm' aber das verkehrte Bild
 s entfernten Visirpunktes m . An den Seitenwänden des Kastens
 a man dieselbe Erscheinung beobachten.

Die gleiche Erscheinung beobachtete ich in den ersten Nachmittagsstunden an den horizontalen Sandsteinplatten, welche eine niedrige, bräunliche Mauer deckten, als dieselben durch die Strahlen der Julisonne stark erhitzt worden waren.

Als Prof. R. Ball auf dem Decke eines Dampfschiffes in solcher Stellung den aufgehenden Mond beobachtete, dass die Gesichtslinie mit einem Winkel von 20 Minuten den Schornstein streifte, sah er plötzlich das Licht des Gestirns in solchem Glanz von der schwarzen Fläche reflectirt, dass es schwer hielt, nicht zu glauben, der Effect rühre von einem Spiegel her.

- 151 **Die Kimmung.** Eine mit der Luftspiegelung verwandte Erscheinung ist die, dass man Gegenstände, die für gewöhnlich am Horizont erscheinen oder selbst von demselben verdeckt sind, über denselben in die Höhe gehoben erblickt. Wenn man z. B. von Ramsgate aus mit dem Fernrohr nach Dover hinschaut, so erblickt man bei schönem Wetter die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses zu Dover. Der Rest des Gebäudes ist hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr 12 englische Meilen weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. April 1806, Abends gegen 7 Uhr, war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze Schloss bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Weder die sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftströme in krummer Linie ins Auge gelangt.

Fig. 233.

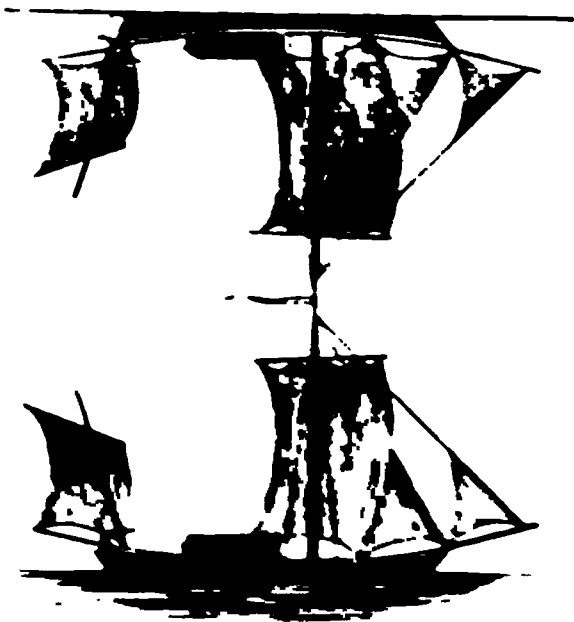


Fig. 234.



Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernten Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizont; er konnte es ganz deutlich unterscheiden. Zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmässiges, umgekehrtes Bild desselben, so dass die Spitzen der Masten des directen und des umgekehrten Bildes zusammenstiessen, wie dies Fig. 233 dargestellt ist. Ein anderes Mal sah er von einem Schiffe, dessen Masten erst über dem

te waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 232, ein aufrechtes und ein
hrtes.

Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspie-
g, welche auf dem Meere öfter beobachtet werden, sind unter dem
n der Erhebung, des Seegesichtes oder der Kimmung bekannt.
esby hatte in den grönländischen Meeren häufig Gelegenheit, sie
zunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in verticaler Richtung ver-
rt oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein auf-
s und ein verkehrtes, von Schiffen, welche in einer Entfernung von
emeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle

Erscheinungen rühren nur von der ungleichen Temperatur und
igkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Fig. 235.



Die Erscheinung der Kimmung habe ich wiederholt am Bodensee
ben Gelegenheit gehabt. Von Ueberlingen aus sieht man in der
ung nach Meersburg hinschauend, ein kleines Vorgebirge unter
inlichen Umständen, so wie es Fig. 235 zeigt, durch Kimmung
erscheint es manchmal gehoben, Fig. 236, gerade so als ob man es

Fig. 236.

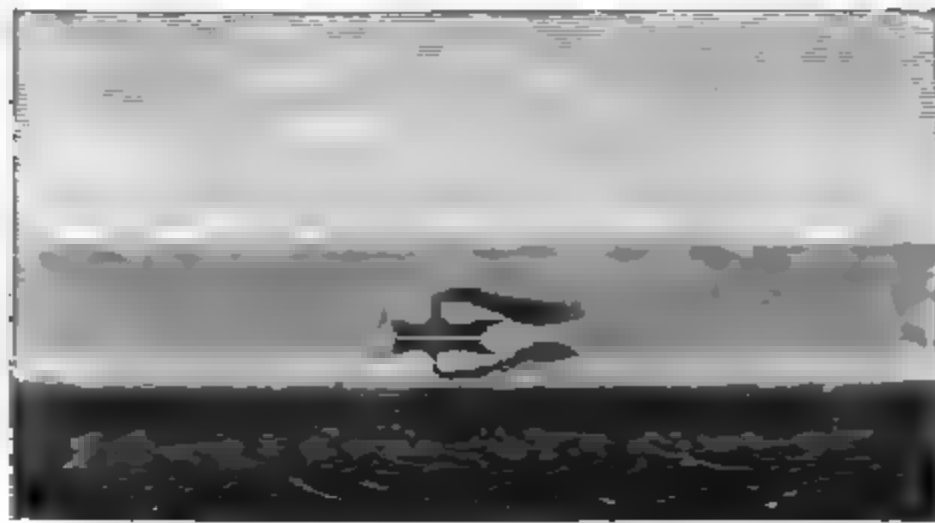


inem bedeutend höheren Standpunkte aus beobachtete. — Manch-
kann man von Constanz aus das Ufer mit dem Fuss der Gebäude

von Friedrichshafen über den Horizont gehoben erblicken, während gewöhnlich von demselben verdeckt erscheint. — An Schiffen, welche weit entfernt sind, dass sie unter gewöhnlichen Umständen in oder hinter dem normalen Wasserhorizonte erscheinen würden, habe ich einem kleinen Handfernrohr die Erscheinung wahrgenommen, wie in Fig. 237 dargestellt ist, so dass nicht allein das Schiff ziemlich hoch dem Horizont gehoben erschien, sondern auch noch sein Spiegelbild im Wasser sichtbar wurde.

Diese Erscheinung rührt offenbar daher, dass die Dichtigkeit unteren Luftschichten mit der Erhöhung über den Boden ungewöhnlich rasch abnimmt, so dass die vom Gegenstand aus ins Auge gelangende

Fig. 237.



Lichtstrahlen nicht eine gerade, sondern eine mehr oder weniger nach oben gewölbte Linie beschreiben. Es wird dies, wie Zech (Jel. Zeitschrift für Meteorologie II. Bd.) richtig bemerkt, namentlich der Fall sein müssen, wenn bis zu einer gewissen Gränze die höheren Schichten wärmer sind als die tieferen. — Unter Umständen bringt rasch nach oben abnehmende Dichtigkeit der Luft nicht allein eine Erhebung, sondern auch eine nach oben gerichtete Luftspiegelung, wie das in Figur 233 dargestellte Beispiel zeigt.

Die Bilder ferner Gegenstände, welche uns durch aussergewöhnliche atmosphärische Refraction und Luftspiegelung sichtbar werden, können uns aber, wenn die Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten ein regelmässig wechselnde ist, nicht allein verzerrt, sondern auch in ständiger Bewegung erscheinen, wie dies bei der unter dem Namen Fata Morgana zu Neapel, zu Reggio und an den Küsten Siciliens bekannten Erscheinung der Fall ist. Auf einmal sieht man in grosser Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlösser, Paläste, kurz eine Menge von Gegenständen, deren Anblick sich fortwährend ändert. Das Volk strömt dann dem Ufer zu, um dieses sonderbare Schauspiel anzusehen. Die sonderbare Erscheinung beruht darin, dass Gegenstände sichtbar werden, welche bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nicht sehen kann

dert; denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem die unter sich parallel eintretenden Sonnenstrahlen in verschiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden sie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verschiedene Ablenkungen. Einfallender Strahl, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für diesen Strahl ist $i = 0$, wenn aber $i = 0$, so sind auch r und d gleich Null. Je mehr der Einfallspunkt nach A hinrückt, desto grösser wird i , und die stetige Änderung von i hat auch eine stetige Veränderung von d zur Folge. Ist leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d (Gleichung 1) zu berechnen, wie es in folgender Tabelle für einige von i geschehen ist. Es ist hierbei 1,33 als Brechungsexponenten für den Uebergang der Lichtstrahlen aus Luft in Wasser angenommen.

i	r	d
10°	$7^{\circ} 30'$	10°
20	14 54	19 36'
30	22 5	28 20
40	28 54	35 36
50	35 10	40 40
60	40 37	42 28
70	44 57	39 48
80	47 46	31 4
90	48 45	15.

Nach dieser Tabelle ist die obere Curve der Figur 1 Tabelle 1 construirt, welche das Verhältniss anschaulich macht, in welchem der Fallswinkel i zur Ablenkung d steht. Die verschiedenen Werthe sind als Abscissen, die zugehörigen Werthe von d als Ordinate getragen. Man ersieht aus dieser Figur sehr deutlich, wie mit wachsendem Werthe von i auch die Ablenkung wächst, bis sie ein Maximum erreicht, wenn i gegen 59 bis 60° ist. Wächst i noch mehr, so die Ablenkung wieder ab.

Aus dem eben Gesagten folgt nun unmittelbar, dass die parallel den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, die wir bisher betrachtet nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es ist begreiflich, dass durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindrucks, den sie hervorbringen, ganz ausserordentlich geschwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus den Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung in den Tropfen kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist. Mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel aus dem Tropfen austreten. Suchen wir nun in der Curve ABC (Fig. 1, Tab. 11) diejenigen

$$4 \cdot \cos. i^2 = n^2 \cos. r^2$$

$$4(1 - \sin. i^2) = n^2(1 - \sin. r^2)$$

und wenn man für $\sin. i$ seinen Werth aus Gl. 4) setzt:

$$4(1 - n^2 \sin. r^2) = n^2(1 - \sin. r^2)$$

oder nach einigen Umformungen

$$\sin. r = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

und

$$\sin. i = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

Setzen wir für n seinen Zahlenwerth 1,33, so kommt

$$\sin. i = 0,86238 \text{ also } i = 59^\circ 35'.$$

wonach ferner

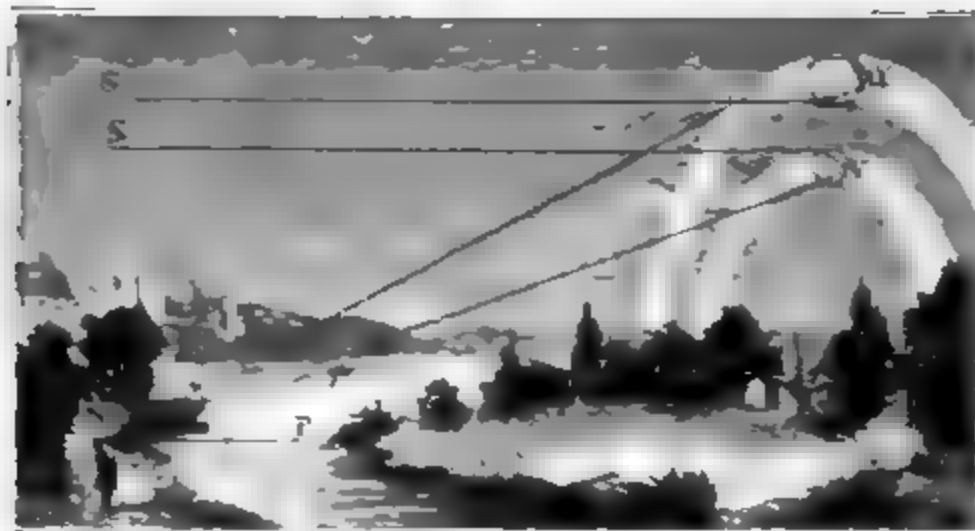
$$\sin. r = \frac{0,86238}{1,33} = 0,6483 \text{ also } r = 40^\circ 25'$$

und endlich

$$d = 42^\circ 30'.$$

Man denke sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters, gerade Linie OP , Fig. 239, gezogen, und durch dieselbe eine Vert. ebene gelegt. Man ziehe ferner durch O eine Linie OV , so das Winkel $POV = 42^\circ 30'$, so werden, nach dieser Richtung hin sich findende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirk. Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung pfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich,

Fig. 239.



allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, die durch drehung der Linie OV um die Axe OP entsteht: das Auge wird einen lichten Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der S durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser α einem Winkel von $42^\circ 30'$ erscheint.

Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent Rechnung gebracht. Es ist dies aber der Brechungsexponent der rei

Strahlen, das Auge sieht also in der erwähnten Richtung einen rothen Bogen, der als ein rother Ring von 30' Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser von 30' hat. Für violette Strahlen ist der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von i und d :

i	d	i	d
0	0	50°	39°
10°	9° 40'	60	40 28'
20	18 57	70	37 28
30	27 22	80	28 28
40	34 20	90	12 18

Nach diesen Zahlen ist die unterste Curve (Fig. 1, Tab. 11) constructirt. Das Maximum der Ablenkung, welche die violetten Strahlen bei einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, ist demnach 40° 30'; dies ist also die Richtung, in welcher die wirksamen violetten Strahlen austreten. Es wird also concentrisch mit dem rothen ein kleinerer Kreisbogen von geringerem Halbmesser sichtbar sein, welcher ebenfalls eine Breite von 30' hat. Zwischen diesen äussersten Bogen theilen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gesammten Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgebreitetes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 20°, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2° grösser ist als der des violetten.

Was den Umfang des farbigen Bogens betrifft, so hängt er offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne untergeht, so erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis; er kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn er auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite oder auf einem hohen Thurme steht.

Beim Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher die Sonne steigt, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne 42° 30' hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der Gipfel des Berges gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganze kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

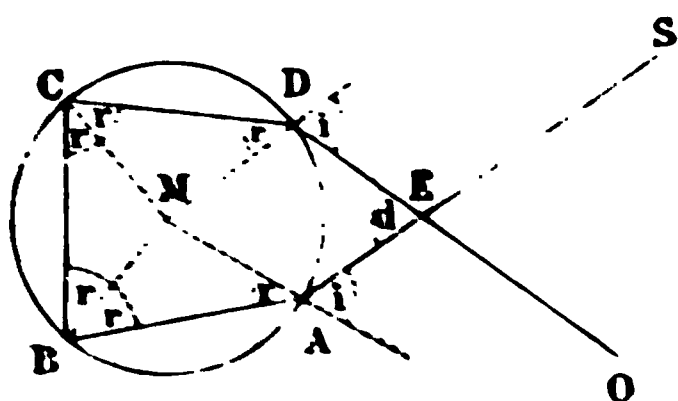
Ausser dem eben besprochenen Hauptregenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten grösseren, mit dem ersteren concentrischen, Nebenregenbogen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äusseren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violett aussen.

Violett aussen. Der Nebenregenbogen ist weit weniger lichtstark als innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Annahme, der Nebenregenbogen sei gleichsam ein Spiegelbild des Hauptregenbogens. Die Entstehung des äusseren Regenbogens beruht auf demselben Principien wie die des inneren, er entsteht durch Sonnenstrahlen, die in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 240 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Reflexion zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher in A gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d an dem Punkt E , dessen Grösse veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie bei jedem Fünfeck der Fall ist, 6 Rechte oder 540° . Um den Winkel d zu finden, haben wir also nur von 540° die Eckwinkel bei A und D abzuziehen; jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt r , zusammen machen sie also $4r$.

Fig. 240.



Der Winkel bei D sowohl als der bei A ist aber gleich $r + 2i$. Für den Winkel d können wir aber seinen Werth $r + 180 - i$ setzen, folglich ist der Winkel d gleich $r + 180 - i$. Also zusammen $2r + 360 - 2i$ wir haben also:

$$d = 540 - 4r - (2r + 360 - 2i)$$

oder $d = 180^\circ + 2i - 6r.$

Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe des Einfallswinkels i und des Ablenkungswinkels d für violett und rothes Licht:

Einfallswinkel

Ablenkungswinkel

für Roth

für Violett

0

180°

180°

40

86 36'

88 0'

60

56 18

58 24

70

50 18

53 24

80

53 24

56 12

90

68 30

70 18

Wenn ein rechtwinklig auf den Tropfen fallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, so tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und des austretenden Strahls ist für diesen gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine totale Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahls bildet; die Ablenkung ist alsdann 180° . Ist der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, so nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der Einfallswinkel wächst. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° ist die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt sie für die rothen Strahlen ungefähr 50° , für violette nahe $53\frac{1}{2}^\circ$. Für noch grössere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder zu.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle sind die beiden Curven der Fig. 2 auf Tab. 11 construirt, und zwar gilt die untere für die rothen, die obere für die violetten Strahlen. Man sieht aus dem Anblick der Curven, dass in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, dass also in der Richtung der kleinsten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und diese Strahlen sind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlassend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den ersten Regenbogen entwickelten Schlussweise ergibt sich, dass man unter den geeigneten Umständen einen rothen Regenbogen sehen wird, dessen Halbmesser unter einem Winkel von 50° , und einen violetten, dessen Radius unter einem Winkel von $53\frac{1}{2}^\circ$ erscheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt also ungefähr $3\frac{1}{2}^\circ$.

Der Zwischenraum der beiden Regenbogen beträgt ungefähr $7\frac{1}{2}^\circ$.

Der äussere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, indem das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde sich einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

Secundäre Regenbogen. Im vorigen Paragraphen wurde nur die Haupterscheinung des Regenbogens betrachtet, welche er jedesmal eine wesentliche Veränderung zeigt; es kommt indessen noch eine interessante Nebenerscheinung vor, die nur unter besonderen Umständen nicht immer in ganz gleicher Weise eintritt, nämlich die sogenannten secundären oder überzähligen Regenbogen.

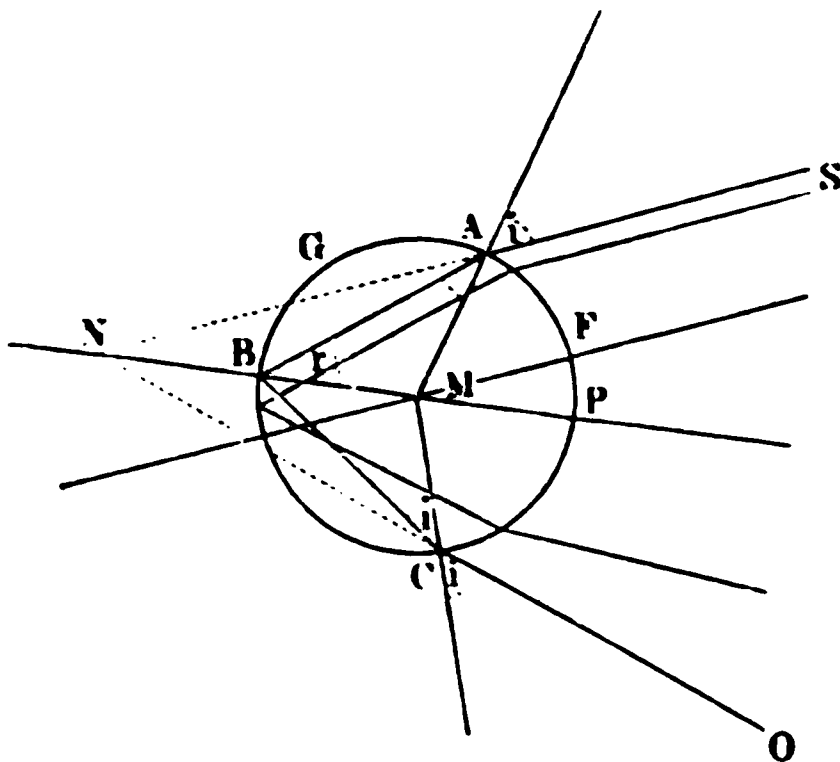
Die überzähligen Regenbogen bestehen darin, dass der Hauptregenbogen nach Innen, und manchmal auch der Nebenregenbogen nach Aussen nicht mit dem Violett abschliesst, sondern, dass sich jen-

seits des Violett noch mehrere, meist abwechselnd grün und roth anschliessen. Diese secundären Bogen erscheinen in der Regel obersten Theile der primären, indem sie nach beiden Seiten hin matter werden und lange bevor sie den Fuss erreichen, ganz verschwinden.

Venturi sucht die überzähligen Regenbogen durch die zu erklären, dass die herabfallenden Regentropfen zum Theil eine abgeplattete Gestalt haben (Gilb. Ann. LII, 1816), d. h., da sie die Gestalt eines Umdrehungsellipsoides haben, dessen verticale Umdrehungsaxe kleiner ist, als sein Aequatorialdurchmesser. In der That liefern solche Tropfen, welche in oder nahe der Verticalebene der Sonne einen niedrigeren Hauptregenbogen liefern als die kugelförmigen Tropfen, anderen Einwendungen, die sich gegen diese Hypothese machen lässt sich gegen dieselbe besonders geltend machen, dass man bei den kugelförmigen Tropfen, welche den normalen Regenbogen liefern, in jedem secundären Bogen die Existenz von Tropfen eines bestimmten Abplattungsgrades annehmen muss, ohne dass Zwischenformen von kugelförmigen und abgeplatteten Tropfen existieren.

Nach Young sind die überzähligen Regenbogen als ein Interferenzphänomen zu betrachten. Aus dem vorigen Paragraphen wissen wir, dass unter allen auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen

Fig. 241.



jenigen als wirksame austreten, für welche einmaliger innerer Reflexion genügt, d. h. der Ablenkungswinkel d ein bestimmter ist. In Fig. 241 sei nun nur jene Bündel einfallender Strahlen, welches in der Richtung CO als ein wirksames Bündel austritt, so wie auch die zwischen A und F einfallenden Sonnenstrahlen, sowie alle diejenigen, welche zwischen A und G treten, d. h. diejenigen, welche einmaliger innerer Reflexion genügt, in einer Richtung austreten.

Die Strahlen, welche mit der Richtung der einfallenden Sonnenstrahlen einen kleinen Winkel bilden, machen als CO . Einem jeden zwischen F und A einfallenden Sonnenstrahl entspricht aber ein anderer zwischen A und G den Tropfen treffender einfallender Strahl, welcher mit dem ersteren nach einmaliger innerer Reflexion in gleicher Richtung verlässt. Diese beiden Strahlen müssen nothwendig interferiren, da sie innerhalb des Tropfens verschiedene Wege zurückgelegt haben. Wenn man sich den Ablenkungswinkel von seinem Maximumwerthe aus allmählig abnehmend denkt, so wird für die beiden nach gleicher Richtung austretenden und interferirenden Strahlen der Gangunterschied immer grösser, sie werden sich also bald verstärken und schwächen müssen. Das auf solche Weise

Interferenz erzeugte 1te, 2te, 3te Maximum der Lichtstärke für bestimmte Strahlenart wird aber offenbar dem gleichfarbigen Ringen des Regenbogens um so näher liegen, je grösser die Ringe sind. Bei einer bestimmten Kleinheit der Tropfen wird das erste Maximum für rothe Strahlen mit dem violetten Ring des Regenbogens zusammenfallen und so an dieser Stelle ein purpurner Ring entstehen, dem sich dann die weiteren Ringe des secundären Regenbogens anschliessen.

Young hat diese Young'sche Erklärung der secundären Regenbogen entwickelt und vollendet; wir können aber hier nicht näher darauf eingehen und verweisen zunächst auf die gelungene Darstellung dieses Phänomens, welche Clausius im 4. Hefte von Grunert's Beiträgen zur geologischen Optik, Leipzig 1850, gegeben hat, und dann auf die Originalabhandlung, von welcher sich eine Uebersetzung im 1sten Band von Poggendorff's Annalen (1842) findet.

Höfe. Oft sieht man, wenn der Himmel mit einem leichten Wolken- 154 überzogen ist, dicht um die Sonne oder den Mond farbige Ringe, die man mit dem Namen der Höfe bezeichnet. Sehr häufig erscheinen die Höfe nicht vollständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Höfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, dass das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese Höfe bald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

Die Höfe haben die grösste Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit Samen bestreute Glasplatte betrachtet (Lehrb. der Physik, 7. Aufl. S. 777), und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen unter Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Dem gleichen Namen der Höfe bezeichnet man aber auch eine Art von Lichtringen, welche meist nur schwach gefärbt, die Sonne oder den Mond in grösseren Winkelabständen umgeben. Fraunhofer unterscheidet die ersteren Höfe kleinerer Art, die letzteren aber Höfe grösserer Art. Es dürfte wohl am zweckmässigsten sein, den Namen Hof nur für die den Mond oder die Sonne unmittelbar glorienartig umgebenden Farbenringe, welche Kämtz auch Lichtkränze nennt, zu reserviren, die Höfe grösserer Art aber, welche in grösserer Entfernung von der Sonne oder dem Mond erscheinen und welche im nächsten Paragraphen besprochen werden sollen, einfach als Sonnen- oder Mondringe zu bezeichnen.

Ein schönes Beispiel eines Hofes zeigt Fig. 242, welches die Copie der linken Hälfte eines englischen Momentan-Stereoskopbildes ist. Ein Hof umgiebt nicht nur die Sonne selbst, sondern auch ihr in die Wasserfläche gespiegeltes Bild im Wasser ist von einem, freilich weniger

vollkommenen Hofe umgeben, welcher sich zum Theil wie ein Net dem Nachen ausbreitet.

Die Farben der eigentlichen Höfe folgen ganz den Gesetz Farben dünner Blättchen im durchgelassenen Lichte (Leh 7. Aufl. I. Bd. S. 797). Bezeichnen wir also mit ϱ den Radius des 1ten dunklen Ringes für irgend eine einfache Farbe, so ist der des 2ten, 3ten u. s. w. dunklen Ringes derselben Farbe 3ϱ , 5ϱ u während die Halbmesser der hellen Ringe der gleichen Farbe 2ϱ , 4ϱ u. s. w. sind. Die Erklärung dieser Erscheinung ist auf die Beugung zurückzuführen, welche entsteht, wenn die von einer geraden Linie ausgehenden Strahlen von einem ihr parallelen dünnen u

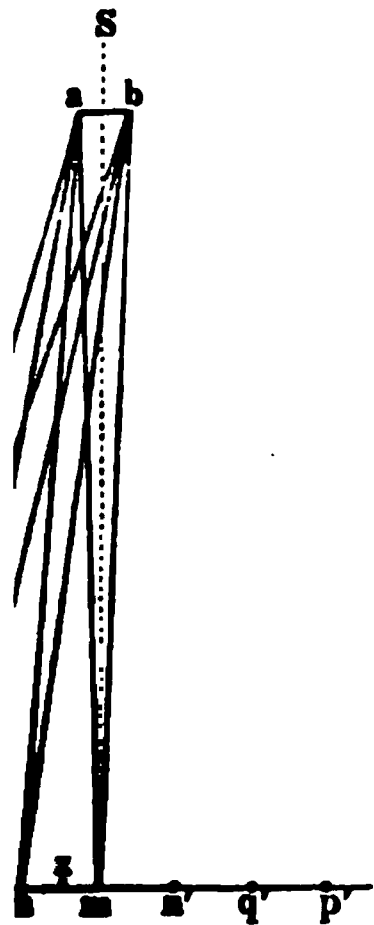
Fig. 242.



sichtigen Stäbchen oder die von einem Lichtpunkt ausgehenden Strahlen von einem undurchsichtigen Scheibchen oder einem undurchsichtigen Kugelchen aufgefangen werden.

Die durch ein dünnes Stäbchen, etwa durch einen Draht, gebrochene Beugungsfigur entsteht durch die Interferenz der Randst

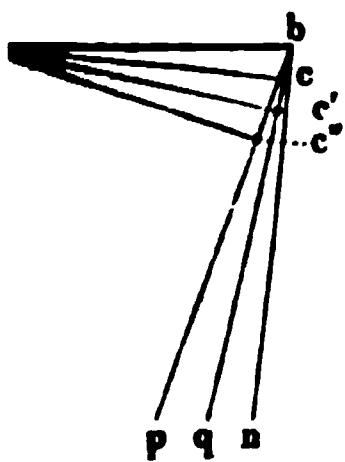
3. ab , Fig. 243, der zur Richtung der einfallenden Strahlen recht-Durchmesser des Stäbchens, so werden die zunächst bei a liegenden elementaren Strahlen nach allen Richtungen aussenden, wie die zunächst am Rande b liegenden. Denkt man sich nun in einer Entfernung hinter ab einen weissen Schirm aufgestellt, so werden die von den beiden Rändern a und b aus gegen irgend einen Punkt n, q u. s. w. desselben convergirenden Strahlen, je nach Umständen einander verstärken oder gegenseitig aufheben. In dem Punkte m , welcher gleich weit von a und b entfernt ist, werden sich die beiden von a und b aus zusammentreffenden Randstrahlen aufs Vollständigste unterstützen, in m , in der Mitte hinter ab , in der Mitte des Beugungsbildes, wird sich also ein heller Streifen befinden, und zwar fallen hier die Maxima der Lichtstärke für alle farbigen Strahlen zusammen, bei Anwendung von weissem Licht wird also in m ein centraler weisser Streifen entstehen, während die seitlichen Streifen sämtlich mehr oder weniger gefärbt sind.



Für Strahlen einer bestimmten Farbe, etwa für Roth, wird ein zweites Maximum in n auftreten, wenn das von a auf den Randstrahl bn gefällte Perpendikel ac , Fig. 244, ein Stück bc abschneidet, dessen Länge gleich

Wellenlänge λ für rothes Licht ist.

Die Punkte q und p , Fig. 243, 2mal, 3mal so weit von m entfernt als n , so werden die von a und b nach q und p convergirenden Strahlen in ihrem Gange um 2, 3 ... Wellenlängen verschieden sein von a auf bq und das von a auf bp gefällte Perpendikel die Länge $bc' = 2\lambda$ und $bc'' = 3\lambda$, Fig. 244, abschneidet), in q und p werden also abermals helle Streifen für Roth entstehen, während sich in den zwischenliegenden Punkten s, y und x dunkle Streifen bilden, weil der Gangunterschied der hier zusammentreffenden Strahlen $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$ Wellenlängen für rothes Licht beträgt.



Der Punkt m , Fig. 243, liegt in der Mitte der ganzen Beugungsfigur; in den Punkten n, q und p , welche eben so weit nach rechts

liegen, wie n, p und q nach links, werden also ebenfalls helle, in der Mitte zwischen ihnen liegenden Punkten werden dunkle Streifen entstehen.

Tritt an die Stelle der geradlinigen Lichtquelle ein Lichtpunct und an die Stelle des beugenden Stäbchens ein kreisrundes Scheibchen oder ein Kügelchen, so wird das Beugungsbild aus einem centralen Fleck bestehen, welcher von abwechselnd hellen und dunklen concentrischen Ringen umgeben ist. Bezeichnen wir den Radius des innersten hellen Ringes (dem Abstand mn , Fig. 243, entsprechend bestimmten Farbe, etwa des Roth, mit r , so sind die Radien der hellen Ringe derselben Farbe $2r$, $3r$ u. s. w., die Radien der dunklen Ringe dagegen sind $\frac{r}{2}$, $\frac{3r}{2}$, $\frac{5r}{2}$ u. s. w.

Bezeichnen wir mit d den Durchmesser ab des beugenden Scheibchens, so haben wir (vergl. Fig. 244)

$$\left. \begin{aligned} bc &= \lambda = d \cdot \sin. \alpha \\ bc' &= 2\lambda = d \cdot \sin. \beta \\ bc'' &= 3\lambda = d \cdot \sin. \gamma \end{aligned} \right\}$$

wenn wir mit α , β und γ die Winkel bezeichnen, welchen die q und p convergirenden Randstrahlen mit der Richtung Sm der einfallenden Strahlen machen. Aus den Gleichungen bei 1) folgt

$$\left. \begin{aligned} \sin. \alpha &= \frac{\lambda}{d} \\ \sin. \beta &= \frac{2\lambda}{d} \\ \sin. \gamma &= \frac{3\lambda}{d} \end{aligned} \right\}$$

die Winkelwerthe, unter welchen die Radien der hellen Ringe im Beugungsbilde eines undurchsichtigen Scheibchens oder Kügelchens in der Mitte des Scheibchens aus gesehen erscheinen, sind also dem Durchmesser des Scheibchens umgekehrt proportional.

Auf diese Beugungserscheinung nun hat Fraunhofer in der bereits von Jordan angedeuteten Weise (Gilb. Ann. XVIII) die Erklärung der Höfe zurückgeführt (Schumacher's Astronomische Handlungen, 3. Heft), nachdem er sich überzeugt hatte, dass ein Seidenfaden ganz ebenso wirkt, wie ein gleich dickes Metalldrähtchen oder ein Glaskügelchen wie ein gleich dickes undurchsichtiges Kügelchen. Im Raum $A'B$, Fig. 245 (a. f. S.), seien Dunstkügelchen von gleicher Grösse so enthalten, dass auf den grössten Theil derselben das Licht der Sonne unmittelbar gelangen kann. Dieses parallel auffallende Licht wird von jedem Kügelchen in der angegebenen Weise gebeugt und unter verschiedenen Winkeln ausgehen. Nehmen wir an, das Auge in o empfange das Licht vom Kügelchen n das Roth der ersten Ordnung, so wird das Gleiche auch vom Kügelchen n' der Fall sein, welches auf der linken Seite eben so weit von der vom Auge nach der Sonne gezogenen Linie oS entfernt ist.

der rechten Seite. Dasselbe wird ferner der Fall sein für alle
 Kugeln, welche auf den Umfang eines rechtwinklig auf oS ste-
 henden Kreises liegen, dessen Mittelpunkt m und dessen Radius mn ist.

Fig. 245.



Dem Auge erscheint der Umfang
 dieses Kreises durch rothes Licht
 und zwar durch das Roth der ersten
 Ordnung erleuchtet, welches einen
 30 Minuten breiten Ring bildet, weil
 die Sonne nicht ein leuchtender Punkt
 ist, sondern einen scheinbaren Durch-
 messer von 30' hat.

Der (mittlere) Radius dieses Rin-
 ges erscheint dem Auge unter einem
 Winkel α , welcher dem bereits oben
 mit α bezeichneten Winkel gleich
 ist.

Von einem Dunstkügelchen q , wel-
 ches doppelt so weit von m entfernt
 ist als n , wird dem Auge o das Roth
 der zweiten Ordnung zukommen,
 vom Kügelchen p das Roth der
 dritten Ordnung u. s. w. Das
 Auge erblickt also einen zweiten die
 Sonne umgebenden rothen Ring vom
 Halbmesser mq , der unter dem Win-
 kel β , und einen dritten vom Halb-
 messer mp , welcher unter dem Win-
 kel γ erscheint.

Für Strahlen anderer Farben ist

dem vorigen ähnlich, wegen der kürzeren Wellenlänge wird
 1ste, 2te, 3te Ring für grünes Licht kleiner sein, als der ent-
 sprechende Ring für rothes, und die blauen Ringe haben einen kleineren
 Durchmesser als die grünen.

Da der Durchmesser der Farbenringe sich umgekehrt verhalten, wie
 der Halbmesser der Kügelchen, so muss der grösste Theil der Kügelchen
 in der Atmosphäre nahezu gleiche Grösse haben, wenn die Höfe mit
 den Ringen deutlich wahrnehmbar sein sollen. Für ungleich grosse
 Kugeln werden die hellen Ringe verschiedener Farben so über ein-
 ander gemischt, dass aus ihrer Mischung ein weissliches Licht entsteht. Man
 kann einen Hof ohne Farben.

Eine genauere Beobachtung von Höfen hat gezeigt, dass die Durch-
 messer der Farbenringe an verschiedenen Tagen sehr verschieden sind.
 z. B. Jordan am 25. October 1797 mittelst eines Sextanten den
 Halbmesser des innersten rothen Ringes, also $\alpha = 2^\circ 33'$, und
 des zweiten rothen Ringes $\beta = 4^\circ 41'$, während sich für einen am

3. October 1792 beobachteten Hof $\alpha = 45'$ und $\beta = 1^\circ 25'$ hatte. Die Ringe werden um so enger, je grösser die Dunstbläschen, welchen sie ihren Ursprung verdanken, wie ja auch der Hof, den man erblickt, wenn man durch eine mit Samen *lycopodii* besetzte Glasplatte nach einer Kerze schaut, grösser ist, als wenn dieser Pollenstaub von *Pinus austriaca* und kleiner, als wenn sie mit Pollen von *Taxus baccata* bestreut wäre.

Nach Gleichung 2) lässt sich leicht der Durchmesser der bläschen berechnen, wenn man den Winkel gemessen hat, unter dem Halbmesser eines Ringes für eine bestimmte Farbe erscheint und die Wellenlänge λ dieser Strahlenart kennt, denn man hat

$$\text{und} \quad \left. \begin{aligned} d &= \frac{\lambda}{\sin \alpha} \\ d &= \frac{2\lambda}{\sin \beta} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots$$

Für die mittleren rothen Strahlen ist $\lambda = 0,00066^{\text{mm}}$, wir erhalten für den von Jordan im Jahre 1797 gemessenen Hof

$$d = \frac{0,00066}{0,0445} = 0,0148^{\text{mm}} \text{ und } d = \frac{2 \cdot 0,00066}{0,0816} = 0,016$$

zwei Werthe, welche so nahe mit einander übereinstimmen, wie nur bei der geringen Genauigkeit erwartet werden darf, mit welcher der Durchmesser der Farbenringe gemessen werden können.

Für den kleineren im Jahre 1792 von Jordan beobachteten Hof ergibt sich

$$d = \frac{0,00066}{0,013} = 0,0508^{\text{mm}} \text{ und } d = \frac{0,00132}{0,0247} = 0,0534$$

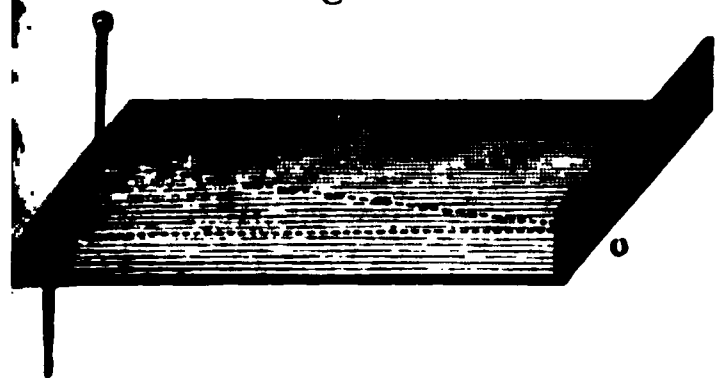
Je länger gutes Wetter angehalten hat, desto kleiner werden die Nebelbläschen; vor Regenwetter vergrössern sie sich schnell. Ich fand die Nebelbläschen in den Wintermonaten im Durchschnitt grösser als in den Sommermonaten.

Zur Messung der Höfe, d. h. des Durchmessers der Ringe, empfiehlt sich nach Kämtz ein einfaches Diopterinstrument besser, als ein Sextant. Hagenbach wandte für solche Messungen ein aus Karte und Stecknadeln improvisirtes Instrument an, welches im Vergleich mit dem Sextanten eine grössere Genauigkeit beim Einstellen auf eine bestimmte Farbe eine höhere Genauigkeit giebt.

Die auch in manchen anderen Fällen anwendbare Vorrichtung Hagenbach's ist in Fig. 246 dargestellt. Ein rechteckig geformtes Stück steifen Papiers (Carton) von 8 bis 10 Centimeter Länge, auf der einen Seite rechtwinklig aufgebogen und bei o ein kleines Loch versehen, dem gegenüber eine Stecknadel bei a ein

L. Visirt man nun von o über den Stecknadelknopf a nach irgend einem Object A , so kann man eine zweite Stecknadel bei b so einstecken, dass sie in die von o nach einem zweiten Object B gerichtete Visirlinie fällt. Zieht man alsdann auf dem Papier die Linien oa und ob , so kann

Fig. 246.



man mit dem Transporteur den Winkel messen, welchen dieselben mit einander machen und welcher dem Winkel der Visirlinien oA und oB gleich ist.

Für die Erklärung der oben besprochenen Höfe ist es völlig gleichgültig, ob die Wasserkügelchen,

die den Nebel bilden, ganz massiv, d. h. ganz mit Wasser gefüllt, oder ob sie kleine, lufthaltige, mit einer äusserst dünnen Wasserhülle umgebene Bläschen sind.

Die oben beschriebenen Höfe erscheinen, wie schon bemerkt, wenn ein leichter Nebel zwischen dem Beobachter und der Sonne oder dem Mond befindet. Selten kann man mehr als zwei Ringe unterscheiden, meistens sieht man nur einen, nämlich den innersten. Manchmal aber sieht man auch Höfe unter scheinbar ganz entgegengesetzten Umständen, nämlich der Beobachter die Sonne im Rücken und eine Nebelwand vor sich hat. Der Beobachter sieht zunächst seinen riesenhaft leuchtenden Schatten auf der Nebelwand, und zwar nicht allein den des Kopfes, sondern auch den Schatten der Brust und der Arme; der Schatten des Kopfes ist aber häufig von einer Glorie umgeben, welche aus drei bis vier farbigen Ringen besteht, deren Farben ganz in derselben Reihenfolge auf einander folgen, wie die der oben betrachteten Höfe, welche aber weit brillanter sind, offenbar weil hier nicht ein blendend heller Punkt den Mittelpunkt des Ringsystems einnimmt, sondern der Schatten des Kopfes.

Jeder Beobachter sieht nur seinen eigenen mit einer Glorie umgebenen Schatten, aber nicht den seines Begleiters.

Solche Nebelbilder lassen sich nur wahrnehmen, wenn der Beobachter einen ganz freien isolirten Standpunkt einnimmt, wie dies auf der Erde nur in Gebirgsgegenden möglich ist; am schönsten zeigen sich bei Sonnenaufgang, wenn der Schatten des auf einer isolirten Bergspitze oder auf einem isolirten Bergkamme stehenden Beobachters auf eine westlich von ihm befindliche Nebelwand fällt. In den Alpen unter anderen Pilatus, Rigi und Mythen sehr geeignete Localitäten zur Beobachtung dieser prächtigen Erscheinung, welche im Harz unter dem Namen des Brockengespenstes bekannt ist.

Ausgezeichnet schön beobachtete Scoresby das Phänomen in den Arktischen Gegenden von dem Mastkorbe der Schiffe aus. Bouguer beobachtete die Erscheinung auf den Cordillern in Südamerika öfters. Der Durchmesser des ersten Farbenringes (ohne nähere Angabe der Farbe)

war bei einer solchen Beobachtung $5^{\circ} 40'$, der des zweiten 11° u. des vierten 17° . Er beobachtete, dass auch bei diesem Phänom Durchmesser der gleichfarbigen Ringe zu verschiedenen Zeiten \approx gleich sind. Bei einem auf dem Pilatus beobachteten Nebelbilde mit fand Hagenbach den Durchmesser des innersten rothen Ringes $2^{\circ} 30'$, woraus sich der Durchmesser der Nebelbläschen gleich 0,4 ergibt. Die Nebelbläschen, welche die von Bouguer besprochen hervorbrachten, hatten wohl kaum einen halb so grossen Durchme

Bouguer bemerkt ausdrücklich, dass der Beobachter einer Glorie stets von einem ganz feinen Nebel umgeben ist, und darauf det Fraunhofer die Erklärung des Phänomens. Die den Kopf

Fig. 247.



obachters umgebenden Kü müssen die bekannten Beug scheinungen hervorbringen.

nun in *d*, Fig. 247, das A Beobachters und diesem \approx also nahe am Kopfe des Beob in *o* ein Dunstkügelchen, auf in der Richtung *ao* Sonnen fallen. Diejenigen, welche *d* treffen, werden \approx gebeugt, Strahlen, welche den ersten Ring bilden, nach *om* und *on*. Die, welche den zweiten Ring gelangen nach *q* und *q'* u. \approx im Raume *AB* eine dichte an kügelchen bestehende Wol wird diese das nahezu vert fallende Licht vorzugsweise Richtung zurückwerfen, in es gekommen ist, das *A* *d* wird die vom Kügelchen beugten Strahlen ebenso \approx halten, wie sie auffielen \approx demnach auf der Wolke Fort sehen, und zwar den erste unter dem Winkel \approx \approx

zweiten unter dem Winkel $qoq' = 2\beta$ u. \approx w. Für alle übr nächst um den Kopf des Beobachters liegenden Kügelchen gilt \approx

Die Fraunhofer'sche Erklärung der Glorie stützt sich Voraussetzung, dass die Kügelchen, welche die Nebelwand *AB* einen namhaften Theil des Lichtes, welches sie trifft, in der \approx Richtung zurückwerfen, in welcher es auffiel. Für massive Wasserkü ist dies durchaus nicht der Fall, denn wir wissen aus der Leb Regenbogen, dass, wenn ein Bündel paralleler Sonnenstrahlen auf

Wassertropfen fällt, wirksame Strahlen nur in zwei Richtungen austreten, denen die eine einen Winkel von ungefähr 42° (nach einmaliger innerer Spiegelung), die andere aber einen Winkel von ungefähr 52° (nach zweimaliger innerer Spiegelung) mit der Richtung der einfallenden Strahlen macht.

Während es also zur Erklärung der Höfe, welche wir im ersten Theile des Paragraphen betrachtet haben, gleichgültig ist, ob das leuchtende Medium, welches sich zwischen der Sonne und dem Beobachter befindet, aus Wassertröpfchen oder aus Nebelbläschen besteht, ist zur Erklärung der Glorie die Annahme von Nebelbläschen durchaus nothwendig, da Hagenbach nachgewiesen hat, dass Nebelbläschen von einem Bündel paralleler Strahlen, welches dieselben trifft, nach einmaliger innerer Spiegelung einen namhaften Antheil des auffallenden Lichtes in der gleichen Richtung reflectirt, in welcher es gekommen war (Pogg. Ann. 88. Bd. 1853).

Fig. 248.

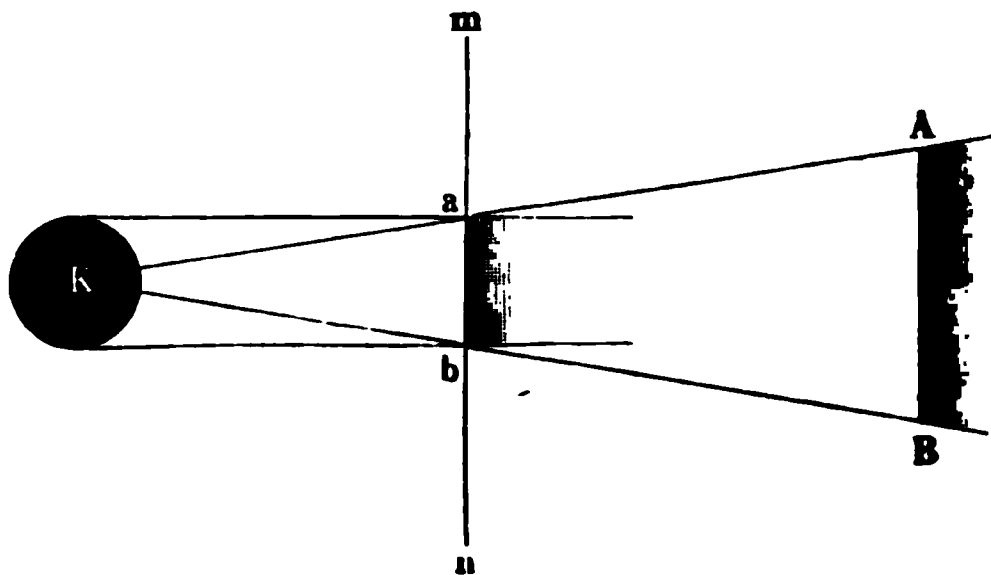


Fig. 248 zeigt den Nebelschatten nebst der ihn umgebenden Glorie einem Entwurf Hagenbach's. Offenbar hat man es hier mit zwei verschiedenen Erscheinungen zu thun, welche allerdings gleichzeitig eintreten, aber doch ganz unabhängig von einander sind. Die farbigen Ringe der Glorie sind, wie wir gesehen haben, ein Interferenzphänomen, während die Schattenfigur wirklich nichts Anderes ist als der Schatten, welchen der Körper des Beobachters auf die Nebelwand wirft, und in der That kann dieser Schatten für sich allein ohne die Ringe erscheinen,

wenn die Nebelbläschen der den Schatten auffangenden Wand ungleicher Grösse sind.

In den meisten Fällen erscheint dem Beobachter sein Schatten riesenhafter Grösse, was auf den ersten Blick höchst auffallend ist. Sonnenstrahlen den schattengebenden Körper in nahezu parallel tangiren, der Schatten also keinen grösseren Durchmesser als der schattengebende Körper selbst. Dass der Schatten riesig erscheint, kann also nur auf einer optischen Täuschung beruhen, die übrigens leicht zu erklären ist. In Fig. 249 stelle K den Kopf

Fig. 249.



des Beobachters und mn die vordere Fläche der den Schatten auffangenden Nebelwand dar, so wird der Schatten ab keinen grösseren Durchmesser haben als K selbst. Die Unbestimmtheit des Schattens aber und die Umstände, welche die richtige Schätzung der Entfernung desselben hindern, veranlassen, dass man ihn unwillkürlich in grössere Entfernung etwa nach AB versetzt. Da aber der Gesichtswinkel, unter dem der Schatten dem Beobachter erscheint, unverändert bleibt, so wird er für um so grösser gehalten müssen, je weiter er ihm entfernt scheint.

Wenn des Morgens früh bei hellem Sonnenschein der Schatten des Beobachters auf eine stark bethaute Wiese fällt, so sieht er den Kopf des Kopfes von einer lichten Glorie umgeben, in welcher sich keine Farbenringe unterscheiden lassen. Diese Erscheinung hat eine Aehnlichkeit mit der eben besprochenen. Wenn jedoch aus dem Nebelbilde der Beweis geführt wird, dass die Nebel wirklich aus Bläschen und nicht aus Wasserkügelchen bestehen, so ist die Erscheinung auf der bethauten Wiese sich zeigende Erscheinung auf ein anderes Erklärungsprincip zurückzuführen; jedenfalls bedarf dieselbe noch einer näheren Untersuchung.

155 Ringe und Nebensonnen. Ganz anderen Ursprungs als die im vorigen Paragraphen besprochenen Höfe und Glorien sind die hellen Ringe, welche öfters in grösserem Abstand die Sonne oder den Mond umgeben; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe beträgt unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des grösseren aber unter

kel von 46 bis 47° ; das Roth ist bei demselben nach innen gekehrt, innere Rand ist schärfer, der äussere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher

Tab. XVa stellt die Erscheinung dar, wie man sie am häufigsten beobachten Gelegenheit hat, nämlich den Mond umgeben mit einem dicken Ring von 22 bis 23° Radius. Um die Sonne wird dieser Ring beobachtet; er erscheint dann meistens von einem horizontalen Streifen durchschnitten, welcher in gleicher Höhe mit der Sonne oft bis zu dieser selbst hin erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Ring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche zu beiden Seiten der Sonne am Umfange des Ringes sieht, sind die Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertikal über der Sonne im Gipfel des Ringes; oder es erscheint hier ein Lichtbogen, wie er in Fig. 250 dargestellt ist. Oft sieht man die

Fig. 250.



Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Die Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heitem Himmel, sondern nur, wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Nach Sonnenuntergang sieht man öfters noch eine verticale Lichtsäule, welche von dem Orte aufsteigt, wo die Sonne unterging. Diese schön roth gefärbte Lichtsäule entspricht dem verticalen bis zur Sonne selbst sich fortsetzenden Nebensonnenstreifen.

Die erwähnten Ringe hat schon Mariotte durch eine Brechung des Lichts in den in der Luft schwebenden Eiskugeln erklärt; wenn die Eis-

nadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallel und nicht zusammenstossende Seitenflächen einen Winkel von 60° einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaassen gleichseitige dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Grösse und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt sich durch die Annahme, dass die Prismen in der Weise schief steht, dass der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 46° beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46° .

Den horizontalen Nebensonnenstreifen erklärt man durch Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen, die verticalen Lichtstrahlen durch Reflexion an den horizontalen Flächen der Eisnadeln. Sie sind am hellsten, wo sie den Ring von 23° durchschneiden, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken. Fraunhofer erklärte die Nebensonnenstreifen als Interferenzerscheinung. Am vollständigsten ist die Theorie der Höfe und Nebensonnen von Galle behandelt (Pogg. Annal. Bd. XLIX).

DRITTES BUCH.

DE CALORISCHEN ERSCHEINUNGEN

AUF DER

ERDOBERFLÄCHE

UND

IN DER ATMOSPHÄRE.



Erstes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Die Meteorologie. Steigen wir aus den Himmelsräumen herab **156**
auf die Oberfläche der Erde, so befinden wir uns auf einem Schauplatz,
auf welchem sich nicht bloss physikalische Phänomene entwickeln, sondern
auf welchem uns auch ein reiches vielgestaltetes organisches Leben ent-
gegentritt. Zu den wichtigsten Factoren, durch welche das Leben der
Pflanzen- und Thierwelt von den einfachsten und niedrigsten Formen
zu den entwickeltsten und vollendetsten vermittelt wird, gehören ohne
Zweifel die Luft, das Wasser und die Wärme.

Alles organische Leben ist durch Stoffwechsel bedingt, der Stoff-
wechsel hängt aber von einer gewissen Beweglichkeit der Atome ab,
welche nur bei luftförmigen und tropfbaren flüssigen Körpern vorhanden

Die Beweglichkeit der Theilchen, ohne welche Stoffwechsel und mit-
hin organisches Leben unmöglich ist, wird aber nur durch die Wärme
erhalten. Ohne Wärme erstarren alle Flüssigkeiten und eine vollständige
Starrung führt den Tod aller Organismen nach sich.

Während also Luft und Wasser diejenigen Stoffe sind, welche vor-
wiegend als Träger des organischen Lebens bezeichnet werden müssen,
scheint uns unter allen Naturkräften keine für das organische Leben
wichtiger als die Wärme.

Die Wärme ist auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre nicht
gleichmäßig verbreitet, sondern diese Verbreitung selbst ist einem be-
endigen Wechsel unterworfen, welcher Luftströmungen (Winde) erzeugt
und auf der einen Seite massenhafte Verdampfung des Wassers, auf der
anderen Seite aber den Niederschlag des in der Atmosphäre verbreiteten
Wasserdampfs bedingt, wodurch dann Wolken, Regen, Schnee u. s. w.
hervorgebracht werden.

Der jeweilige Wärme- und Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre die damit zusammenhängenden Erscheinungen werden gewöhnlich Witterung bezeichnet.

Die Gesammtheit der Witterungsverhältnisse eines Ortes nennt das Klima desselben.

Mit dem Namen der Meteorologie bezeichnet man denjenigen Zweig der Naturlehre, welcher sich mit der Untersuchung der Wittererscheinungen und den damit zusammenhängenden atmosphärischen Nomenen beschäftigt.

Wenn man die Meteorologie hinsichtlich der Sicherheit ihrer Resultate mit der Astronomie vergleicht, so fällt diese Vergleichung höchsten Grade ungünstig für die Meteorologie aus.

Auf Jahrzehnte, ja auf Jahrhunderte voraus kann man den Mond berechnen, in welchem eine Sonnen- oder Mondfinsterniss beginnen aufhören wird. Mit gleicher Sicherheit kann man die Stelle am Himmel vorhersagen, an welcher ein Planet in einem bestimmten Zeitpunkt stehen wird, so dass man jetzt ein Fernrohr so aufzustellen Stande ist, dass ein bestimmter Planet nach zehn, ja nach hundert Jahren an einem bestimmten Tage zu einer bestimmten Stunde das Gesicht des Fernrohrs passiren muss. — Dagegen ist es meist unmöglich die Witterung nur auf wenige Tage, oft auch nur auf wenige Stunden Sicherheit voraus zu bestimmen.

Wollte man aus der Vergleichung astronomischer und meteorologischer Resultate einen Schluss ziehen auf die Sicherheit unserer Erkenntniss derjenigen physikalischen Gesetze, welche beiden Disciplinen Grunde liegen, so würde man doch einen grossen Irrthum begehen.

Die Bewegungen der Himmelskörper sind nur durch mechanische Gesetze bedingt; die Erklärung der meteorologischen Erscheinungen müssen wir dagegen vorzugsweise in den Gesetzen der Wärme suchen.

Wenn nun freilich die Mechanik die vollendetste aller physikalischen Disciplinen ist, so sind doch auch die empirischen Gesetze der Wärmelehre so fest begründet, und die mechanische Wärmetheorie ist so weit ausgebildet, dass der Abstand zwischen der wissenschaftlichen Behandlung der Mechanik und der Wärmelehre keineswegs so gross ist, es nach dem obigen Vergleich astronomischer und meteorologischer Resultate scheinen möchte.

Die Unsicherheit meteorologischer Vorausbestimmungen rührt nicht von der Unsicherheit der physikalischen Gesetze her, welche in Anwendung kommen, sondern daher, dass die hier thätigen Kräfte unter den complicirtesten und stets wechselnden Verhältnissen zu wirken gelangen.

Die Bewegung der Planeten ist fast ausschliesslich durch die Anziehung der Sonne bestimmt, die Störungen, welche die Planetenbewegungen durch die gegenseitige Einwirkung der Planeten unter einander er-

und äusserst gering. Wären in unserem Planetensystem zwei Sonnen vorhanden, welche um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen, wie es bei den Doppelsternsystemen wirklich der Fall ist, so würden die Bewegungen der in diesem System etwa vorhandenen Planeten schon der entwickeltsten Art sein, und gewiss würde die Sicherheit der Vorausrrechnung für ein solches System weit hinter der Sicherheit unserer Astronomie zurückbleiben, obgleich hier wie dort das Gesetz der allgemeinen Massenanziehung den Gang der Erscheinungen beherrscht.

Die Wärme auf der Erdoberfläche rührt, wie wir bald sehen werden, ausschliesslich von den Sonnenstrahlen her.

Wäre nun die Erdoberfläche überall ganz gleicher Natur, bestände z. B. mit Ausschluss alles Wassers überall aus derselben Gesteinsart ohne alle Erhebung, und wäre die Erde wie der Mond ohne Atmosphäre, wäre der Gang der calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche ohne Zweifel von der grössten Regelmässigkeit. So aber wirken die Sonnenstrahlen bald auf Wasser, bald auf Land; bald ist der Boden ihrer Wirkung direct ausgesetzt, bald werden sie von dichten Wolkenmassen aufgehalten. Die an einem Orte durch die Sonnenstrahlen entwickelte Wärme wird durch die Luft und Meeresströmungen anderen Gegenden geführt. Die Wirkung der Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche wird so durch so mannigfaltige Einflüsse modificirt, die uns zum Theil nicht einmal genügend bekannt sind, dass ein einfacher mit Sicherheit voraus bestimmender Gang der Erscheinungen nicht möglich ist, obgleich wir im Stande sind, den Zusammenhang der meteorologischen Erscheinungen nachzuweisen.

Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen. 157
Die Erwärmung unserer Erdoberfläche und der Atmosphäre stammt ausschliesslich von der Sonne her; denn die eigenthümliche Wärme des Erdkörpers ist auf seiner Oberfläche nicht mehr merklich und die Wärmemenge, welche durch chemische Processe, z. B. durch Verbrennung entwickelt wird, ist verschwindend gegen die Wärmequantitäten, welche den Gang der meteorologischen Verhältnisse bedingen. Die Sonnenstrahlen allein sind es also, welche theilweise in der Atmosphäre, vorzugsweise aber von der Erdoberfläche absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt, die zur Erhaltung der thierischen und pflanzlichen Organismen nöthige Wärme liefern.

Die Erwärmung des Bodens hängt von der Richtung ab, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, und da diese Richtung eine nach bestimmten Gesetzen regelmässig wechselnde ist, so ist klar, dass der Erwärmungszustand der Erdoberfläche und der unteren Schichten der Atmosphäre periodischen Variationen folgen muss, und zwar haben wir die tägliche und eine jährliche Periode im Gange der Lufttemperatur (der Temperatur der untersten Luftschichten) zu unterscheiden.

Während der Erde durch die Sonnenstrahlen Wärme zugeführt wird,

verliert sie auf der anderen Seite Wärme durch Ausstrahlung gegen die kälteren Himmelsräume. Im Allgemeinen halten sich Ein- und Ausstrahlung das Gleichgewicht, d. h. die Summe der Wärme, welche der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist derjenigen gleich, welche sie durch Ausstrahlung verliert. Dabei ist aber die Wärme über die Erdoberfläche weder gleichförmig noch unveränderlich vertheilt. Die höchste Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Luftschichten finden wir in den Aequatorialgegenden, während es um so kälter wird, je mehr wir uns den Polen nähern. Fassen wir aber die Temperatur irgend eines bestimmten Ortes auf der Erdoberfläche ins Auge, so zeigt sich, dass sie beständigen Schwankungen unterworfen ist, indem in Folge der veränderlichen Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche bald die Einstrahlung, bald die Ausstrahlung das Uebergewicht gewinnt.

Da nun aber die Veränderungen, welche die Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche erfährt, an zwei Perioden, eine tägliche und eine jährliche, gebunden ist, so ist klar, dass auch die Variationen der Temperatur an irgend einem Orte der Erdoberfläche eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen müssen.

158 Die fünf Zonen. Für verschiedene Gegenden der Erdoberfläche sind die Insolationsverhältnisse äusserst ungleich. Innerhalb der Wendekreise, wo Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch fast gleich sind, wo die Sonne bei ihrem höchsten Mittagsstande das Zenith passirt, und wo die niedrigste Mittagshöhe mindestens 44° (die niedrigste Mittagshöhe der Sonne ist für die Wendekreise $43^{\circ} 42'$, für den Aequator $66^{\circ} 32'$) beträgt, wo also täglich die Sonnenstrahlen eine kräftige Wirkung ausüben können, muss auch stets eine hohe Lufttemperatur herrschen. Jener zwischen den Wendekreisen gelegene Aequatorialgürtel wird deshalb auch die heisse Zone genannt. Sie ist der Schauplatz des reichsten Thier- und Pflanzenlebens.

Die Gegenden der heissen Zone werden auch die Tropen genannt, weil sie zwischen den Wendekreisen, den *circulis tropicis*, liegen.

Den Gegensatz der heissen Zone bilden die Umgebungen der Pole.

Innerhalb der beiden von den Polarkreisen ($66^{\circ} 32'$ nördlicher und südlicher Breite) begrenzten Kugelabschnitte kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang gar nicht über den Horizont, und auch dann nur, um in sehr schräger Richtung den Boden zu bescheinen; hier also kann nur eine geringe Wärmeentwicklung stattfinden und hier starrt deshalb auch fast das ganze Jahr hindurch die Natur in Schnee und Eis.

Der von dem nördlichen Polarkreis eingeschlossene Raum wird die nördliche, der von dem südlichen Polarkreis eingeschlossene Raum wird die südliche kalte Zone genannt.

Der Gürtel zwischen dem nördlichen Wendekreis und dem nördlichen Polarkreis bildet die nördliche gemässigte Zone, gleichwie die südliche gemässigte Zone sich vom südlichen Wendekreis bis zum süd-

den Polarkreis erstreckt. Je mehr man in diesen gemässigten Zonen gegen die Polarkreise vordringt, desto mehr nähern sich die Temperaturverhältnisse denen der kalten Zonen.

Im Allgemeinen also sind die Temperaturverhältnisse eines Ortes Function seines Abstandes vom Aequator, also seiner geographischen Breite, und wenn sie nur von den Insolationsverhältnissen bedingt wären, so müssten nicht andere Factoren modificirend einwirken, so müsste die mittlere Lufttemperatur gleich sein für alle Orte gleicher geographischer Breite. Wir werden bald sehen, dass, und warum dies nicht der Fall ist.

Die tägliche Periode. Wenn die Sonne, nachdem sie am östlichen Himmel aufgegangen ist, höher und höher über den Horizont sich hebt, so muss die immer kräftiger wirkende Insolation ein Steigen der Temperatur zur Folge haben. Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch keineswegs so hoch gestiegen, dass sie eben so viel Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen könnte, als sie durch die Sonnenstrahlen empfängt. Deshalb dauert das Steigen der Temperatur noch über Mittag fort, und erst 1 bis 2 Stunden nach der Culmination der Sonne, wenn ihre Höhe merklich abgenommen hat, tritt ein momentaner Gleichgewichtsstand zwischen Ein- und Ausstrahlung ein, das Maximum der täglichen Temperatur findet deshalb erst um 1 bis 2 Uhr Nachmittags Statt. In da an aber gewinnt bei immer mehr sinkender Sonne die Ausstrahlung das Uebergewicht, die Temperatur sinkt anfangs langsam, dann aber in den Abendstunden. Während der Nacht, wo gar keine Einstrahlung stattfindet, dauert das Sinken der Temperatur mit abnehmender Schnelligkeit fort, bis sie zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum erreicht hat.

Da im Sommer die Sonnenhöhen im Laufe des Tages zwischen weiten Grenzen variiren (zwischen 0 und 63° für das mittlere Deutschland), im Winter (zwischen 0 und 17° für den 50. Breitengrad), so ist klar, dass die Grenzen, zwischen welchen die Temperatur im Laufe eines Tages schwankt, im Sommer weiter auseinander liegen als im Winter. Hier That beträgt z. B. für München die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Tages im Monat Januar im Durchschnitt nur 2° C., während im Juli das tägliche Maximum durchschnittlich 6,2° höher ist als das tägliche Minimum.

Aus ähnlichen Gründen müssen nun auch die täglichen Temperaturschwankungen in den Aequatorialgegenden viel bedeutender sein als in hohen Breiten. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt; so beobachtete z. B. Barth auf seiner Reise in das Innere von Afrika vom Aufgang der Sonne bis zum Nachmittag oft ein Steigen von 6 auf 30, ja von 8 auf 43° Celsius.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung allerdings die Resultate

unserer obigen Raisonsnements über den täglichen Gang der Wärme, so wir aber einzelne Tage herausgreifen, finden wir häufig solche Störungen des normalen Ganges, dass das Gesetz vollständig verwischt erscheint.

Von der Natur dieser Störungen und ihrer Ursachen wird unten die Rede sein.

160 Die Jahreszeiten. Die Sonne theilt nicht allein mit dem ganzen Himmelsgewölbe die tägliche Umdrehung, sondern sie legt im Laufe eines Jahres am Himmelsgewölbe eine Bahn zurück, welche zur Hälfte nördlich zur anderen Hälfte südlich von dem Himmelsäquator liegt. Eine Folge davon ist, dass wenigstens in den gemässigten Zonen Tagesdauer und Mittagshöhe der Sonne ein halbes Jahr lang zunehmen, um dann in der folgenden Jahreshälfte in gleicher Weise wieder abzunehmen. Dies ist der regelmässige Wechsel der Jahreszeiten zur Folge. Wir verfolgen nun den Verlauf der Jahreszeiten für die geographische Breite des mittleren Deutschlands betrachten wollen.

Am 21. März passirt die Sonne den Himmelsäquator, um von der südlichen auf die nördliche Hemisphäre überzugehen. Tag und Nacht sind gleich lang, und die Mittagshöhe, zu welcher die Sonne ankommt, beträgt 40° . Nun aber findet eine rasche Zunahme der Mittagshöhe der Sonne sowohl wie auch der Tagesdauer Statt; bei immer kräftiger werdender Insolation bleibt der Boden nun länger und länger dem wärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen ausgesetzt, die Lufttemperatur also steigen.

Allmählig wird die Zunahme der Tagesdauer und der Mittagshöhe langsamer, bis endlich am 21. Juni die Sonne ihre grösste nördliche Breite erreicht, und somit auch der längste Tag von 16 Stunden und die grösste Mittagshöhe der Sonne von $63\frac{1}{2}^\circ$ Graden eintritt.

Aus demselben Grunde, warum das tägliche Maximum der Temperatur nicht auf die Mittagsstunde fällt, tritt auch das jährliche Temperaturmaximum nicht mit dem längsten Tage ein, sondern später, und im Durchschnitt der Juli der heisseste Monat ist.

Nach dem längsten Tage nimmt die Tagesdauer und die Mittagshöhe der Sonne erst langsam, dann rascher ab, und mit der rascheren Abnahme beider stellt sich dann auch ein Sinken der Luftwärme ein. Am 21. September, dem Herbstäquinectium, passirt die Sonne abermals den Himmelsäquator, um auf die südliche Hemisphäre der Hemisphäre der Himmelskugel überzugehen. Nun werden die Nächte länger als der Tag, die Mittagshöhe der Sonne nimmt mehr und mehr ab, bis sie am 21. December, als am kürzesten Tage (von 8 Stunden) ihr Minimum von 17° Grad erreicht. Unter diesen Umständen, da die Wirkung der ohnehin sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen nur auf wenige Stunden beschränkt bleibt, und der Boden lange Nacht hindurch Wärme durch Ausstrahlung verliert, muss die Temperatur bedeutend sinken; doch tritt das Minimum der Jahrestemperatur in der Regel erst gegen die Mitte des Januars ein, da unmittel-

dem kürzesten Tage die Zunahme der Tageslänge und der Mittags- der Sonne noch zu unbedeutend ist, um ein Steigen der Temperatur rken zu können.

So ist denn im Allgemeinen der Gang der Lufttemperatur im Laufe Jahres für Deutschland folgender: Von der Mitte Januar an steigt Temperatur bis gegen die Mitte Juli, um von da allmähig bis zur Januar wieder abzunehmen. Das Steigen und Fallen der Temperatur ist am langsamsten vor und nach der Zeit des jährlichen Maximums Minimums, am raschesten um die Zeit der Aequinoctien.

Die drei heissesten Monate, Juni, Juli und August, bilden den Sommer, die Zeit, in welcher die kräftigste Entwicklung der Vegetation vor geht. Den Winter bilden die drei kältesten Monate, December, Januar und Februar, während welcher die Vegetation fast gänzlich ruht. Am Ende des Frühlings, März, April und Mai, findet ein allmähiges Aufwachen, während des Herbstes, September, October und November, ein allmähiges Absterben der Pflanzenwelt Statt.

Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und kältesten Monats beträgt für Deutschland im Durchschnitt 16° R.

Der oben beschriebene Wechsel der Jahreszeiten bezieht sich auf die mittlere geographische Breite; in höheren wie in niederen Breiten gestaltet sich die Sache wesentlich anders.

Unter höheren Breiten wird die Dauer des kürzesten Tages immer geringer, die Sonnenhöhe immer unbedeutender, die Winterkälte muss gegen die Pole hin immer zunehmen; zugleich aber nimmt die Dauer des Winters zu, denn während der Aequinoctialperiode ist die Wirkung der Sonnenstrahlen in jenen Ländern noch viel zu gering, um Eis und Schnee zu schmelzen oder das Gefrieren des Wassers zu verhindern, der Winter erstreckt sich also noch über einen Theil der Monate, welche bei uns den Frühling und den Herbst ausmachen. Im Sommer aber wird die Sonnenhöhe vergleich zu unseren Gegenden geringere Mittagshöhe der Sonne erreicht, die längere Dauer der Sommertage nahezu wieder ausgeglichen wird. Am 60. Breitengrade z. B., welcher ungefähr über Petersburg und Stockholm geht, ist der längste Tag $18\frac{1}{2}$ Stunde, die höchste Mittagshöhe der Sonne $53\frac{1}{2}^{\circ}$, so dass die Sommerhitze immer noch eine sehr bedeutende werden kann. In jenen Gegenden herrscht also ein langer Winter, welcher rasch in einen heissen kurzen Sommer übergeht, so dass die Uebergangs-Jahreszeiten, Frühling und Herbst, mehr und mehr verschwinden.

Innerhalb der Polarkreise fallen endlich die Sonnenstrahlen selbst bei der grössten Sonnenhöhe noch so schräg auf, dass sie trotz der langen Tagesdauer keine kräftige Erwärmung hervorbringen können; der Sommer tritt nur eine mehr oder weniger bedeutende Unterbrechung in der Strenge der Winterkälte ein.

Wenden wir uns von Deutschland aus zu den südlicheren Ländern, so muss dort aus zweierlei Gründen der Winter immer milder werden,

denn einmal erreicht die Sonne selbst zur Zeit des Wintersolstitiums eine ziemlich bedeutende Mittagshöhe (unter dem 30. Breitengrade noch $36\frac{1}{2}^{\circ}$), während zugleich die Dauer der Wintertage grösser bei uns (für den 30. Breitengrad z. B. ist die Dauer des kürzesten 10 Stunden 4 Minuten). Während so die Winterwärme steigt, die Sommerwärme nicht in gleichem Maasse, denn die Wirkung grösseren Sonnenhöhe wird dadurch zum Theil neutralisirt, da Sommertage nicht so lang sind als bei uns.

Die Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperatur nimmt um so mehr abnehmen, je mehr wir uns von den Polen aus den Breitenkreisen nähern.

Innerhalb der Wendekreise aber verschwindet der Charakter der Jahreszeiten fast ganz. Auf dem Aequator passirt die Sonne zweimal im März und September, das Zenith, während die niedrigste Mittagshöhe der Sonne (Ende Juni. und December) noch $66\frac{1}{2}^{\circ}$ beträgt. Bedenken wir ferner, dass auf dem Aequator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich sind, so begreift man leicht, dass die jährlichen Temperaturschwankungen für die Aequatorialgegenden nur sehr unbedeutend sein können.

Vom Aequator aus gegen die Wendekreise hin wird allmählich der Charakter unserer Jahreszeiten wieder merklich, während er erst in den gemässigten Zonen entschieden zur Geltung kommt.

In den südlichen gemässigten Zonen wechseln die Jahreszeiten bei uns, nur ist begreiflich dort Winter, wenn wir Sommer haben, und umgekehrt.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung die Resultate der Betrachtung. So beträgt z. B. die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und des kältesten Monats für

Quito	1,4° R.
Havannah	4,5
Mexico	6,3
Palermo	11,1
Rom	13,7
München	15,6
Prag	18,6
Moskau	23,5
Irkutzk	30,3
Jakutzk	50,8.

161 Modificationen normaler Temperaturverhältnisse
 durch die Attraction der Sonne vorgeschriebene Bahn eines jeden Planeten wird durch den störenden Einfluss der übrigen kaum alterirt. Störungen spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Anders mit den klimatischen Verhältnissen. Allerdings ist der Erwärmungsgrad

stand der unteren Luftschichten eine Function der Insolationsverhältnisse, aber eine Function, in welcher mehrere mannigfach wechselnde Ursachen eintreten, so dass die Störungen den regelmässigen Gang oft scheinbar maskiren. Wäre die Natur der Erdoberfläche überall dieselbe (es fehlte die Abwechselung zwischen Wasser und Land, zwischen Berg und Thal, zwischen bewaldetem und pflanzenleerem Boden), würde die Wirkung der Insolation nicht durch wechselnde Bewölkung des Himmels modificirt, und würde die Wärme nicht durch Luft- und Meeresströmungen von einem Orte zum anderen fortgeführt, so müssten nicht allein Orte gleicher geographischen Breite gleiche klimatische Verhältnisse haben, sondern es müssten auch die täglichen und jährlichen Variationen der Lufttemperatur vollkommen regelmässig verlaufen.

Dem ist aber in der That nicht so. — So hat z. B. Neapel eine mittlere Jahreswärme von $12,25^{\circ}$, während bei gleicher nördlicher Breite New York nur eine mittlere Jahreswärme von $8,7^{\circ}$ hat. Christiania und Stockholm haben fast gleiche mittlere Jahreswärme ($4,2$ und $4,4^{\circ}$) und doch ist Quebec um mehr als 13 Breitengrade südlicher als Christiania. Auch ist an einem und demselben Orte der Gang der Wärme von einem Jahre zum anderen sehr verschieden, und demselben Jahrestag entspricht keineswegs stets dieselbe Temperatur, wie es sein müsste, wenn die Lufttemperatur allein vom Sonnenstande abhinge. So war z. B. zu Frankfurt am Main — 14° R. die mittlere Temperatur des 22. Januar 1850, $+ 8,5^{\circ}$ R. derselben Tages im Jahre 1846. — Im Jahre 1846 war zu Frankfurt am Main der 22. Januar um 2° wärmer als der 14. Mai. Ebenfalls fiel im Jahre 1841 der heisseste Tag auf den 24. Mai (mit 20° R.), im Jahre 1842 aber auf den 19. August (mit 21° R.).

Solche Anomalien zeigen deutlich, wie sehr die Luftwärme ausser den Insolationsverhältnissen noch von anderen mächtig influirenden und veränderlichen Factoren bedingt wird. Wenn am 22. Januar 1846 zu Frankfurt am Main eine Wärme von $8\frac{1}{2}^{\circ}$ R. herrschte, so konnte diese Temperatur unmöglich direct durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen sein, und zwar um so weniger, als jener Tag ein durchaus bedeckter Regentag war; die damals herrschenden Südwestwinde hatten die Wärme offenbar aus südlicheren Gegenden zugeführt; eben so wie die verhältnissmässig niedrige Temperatur des 14. Mai 1846 nur das Resultat rauher Nordostwinde war.

Somit ist denn klar, dass theoretische Betrachtungen nicht genügen, die klimatischen Verhältnisse eines Landes zu bestimmen oder den Gang der täglichen oder jährlichen Temperaturschwankungen zu erkennen. Die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel lässt sich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgesetzte Beobachtungen genügend feststellen. Humboldt hat hier den für alle Naturwissenschaften einzig allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerst mit Erfolg betreten. Auf seinen Reisen auf beiden Hemisphären hat er mit unerermüdlichem Eifer zahlreiche Thatsachen gesammelt, und durch geistreiche

Combinationen dieser Thatsachen zuerst eine wissenschaftliche Logik begründet.

162 Thermometer-Beobachtungen. Um durch die Beobachtung des Thermometers den Gang der Lufttemperatur für irgend einen Zeitraum zu kennen zu lernen, bedarf es vor allem guter und zweckmässig aufgestellter Thermometer.

Die zu meteorologischen Beobachtungen dienenden Thermometer sind fast ausschliesslich Quecksilberthermometer. Nur in Ausnahmefällen, wenn die Temperatur nahe bis zum Gefrierpunkt des Quecksilbers oder selbst noch unter denselben fällt, müssen Weingeistthermometer angewendet werden.

Früher waren zu meteorologischen Beobachtungen fast ausschliesslich Thermometer mit Reaumur'scher Scala angewandt worden. In neuerer Zeit aber wird die, ohnedem bei allen übrigen wissenschaftlichen Untersuchungen allgemein benutzte 100theilige Scala mehr und mehr auch bei meteorologischen Beobachtungen eingeführt, wie dies von den meteorologischen Stationen der Schweiz, Badens und Rußlands der Fall ist. Die Thermometer dieser Stationen sind mit Secularglas versehen, deren Grade noch in fünf gleiche Theile getheilt sind, so dass man fast auf 100tel Grade genau ablesen kann.

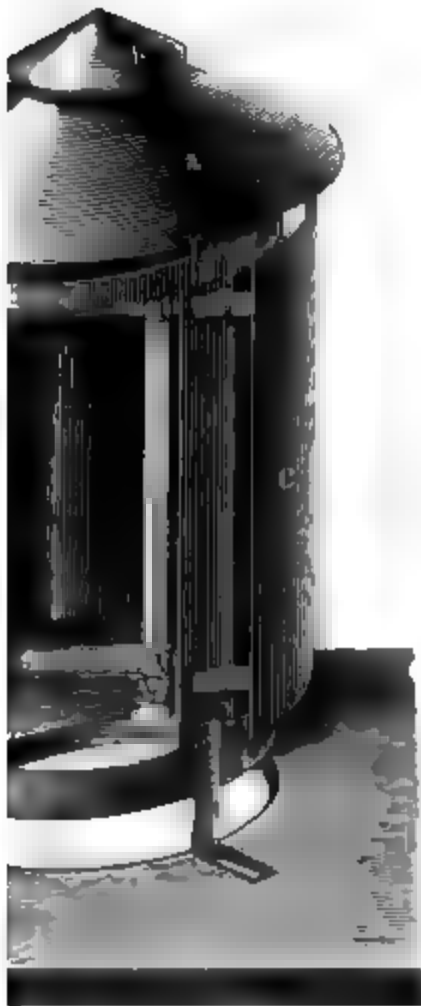
Damit die Thermometer wirklich die Temperatur der Luft angeben, müssen sie durch ihre Aufstellung sorgfältig vor allen störenden Einflüssen geschützt sein, was die *societas palatina zu Mannheim* im Jahre 1781 durch folgende Bestimmungen zu erreichen suchte. Das Thermometer soll ausserhalb des Zimmers frei, d. h. etwas entfernt sowohl vom Boden als von den Wänden des Gebäudes so aufgestellt werden, dass ihm zwar gegen Norden ein freier Horizont geboten wird, sowohl die directen als auch die reflectirten Sonnenstrahlen abgehalten sind. Beim Ablesen soll man sich hüten, den Stand des Thermometers durch den Rauch der Lampe, noch durch den Athem zu verändern.

Die Thermometer der schweizerischen meteorologischen Stationen befinden sich in einem Blechgehäuse, Fig. 251, welches unten offen ist, aber von einem conischen Dach *a* überdeckt ist, über dessen obere Fläche ein zweites conisches Dächlein *b* so angebracht ist, dass zwischen beiden noch ein freier Zwischenraum bleibt. Die Vorderseite des Gehäuses ist durch eine in unserer Figur weggelassene Thür verschliessbar, welche nur behufs der Beobachtung geöffnet wird. Rechts und links in der Mitte der Wand des Gehäuses durchbrochen, aber ungefähr ein Zoll vor der Wand ist ein Blech *c* angebracht, welches etwas grösser ist als die Oeffnung selbst. Eine in ähnlicher Weise geschützte Oeffnung befindet sich auch auf der Rückseite des Gehäuses.

Auf diese Weise ist das Thermometer sowohl vor Schnee und Regen als auch vor jeder directen Strahlung geschützt, während ein freier Luftzug nach allen Seiten hin gesichert ist. Aber das Gehäuse selbst

directen Sonnenstrahlen getroffen werden, weil es sich hitzen würde. Da aber selbst eine freie nach Norden gelegene Stelle im Sommer Morgens und Abends von den Sonnenstrahlen

Fig. 251.



getroffen wird, so muss durch leichte, etwa 2 Fuss entfernte Bretter dafür gesorgt sein, dass das Gehäuse mindestens $2\frac{1}{2}$ Stunden vor der Ablesung nicht von der Sonne beschienen werden kann. Es versteht sich von selbst, dass das nach Norden gelegene Zimmer, vor dessen Fenster das Thermometer aufgestellt ist, im Winter nicht geheizt werden darf, und dass das Fenster gleich nach gemachter Ablesung wieder geschlossen werden muss.

Noch besser als die oben besprochene Aufstellung vor einem nach Norden gelegenen Fenster ist die folgende: Das Blechgehäuse, welches in diesem Falle auch rechteckig sein kann, und durch jalousieartige Wände gebildet wird, kommt in ein rechteckiges, von 4 Pfählen getragenes

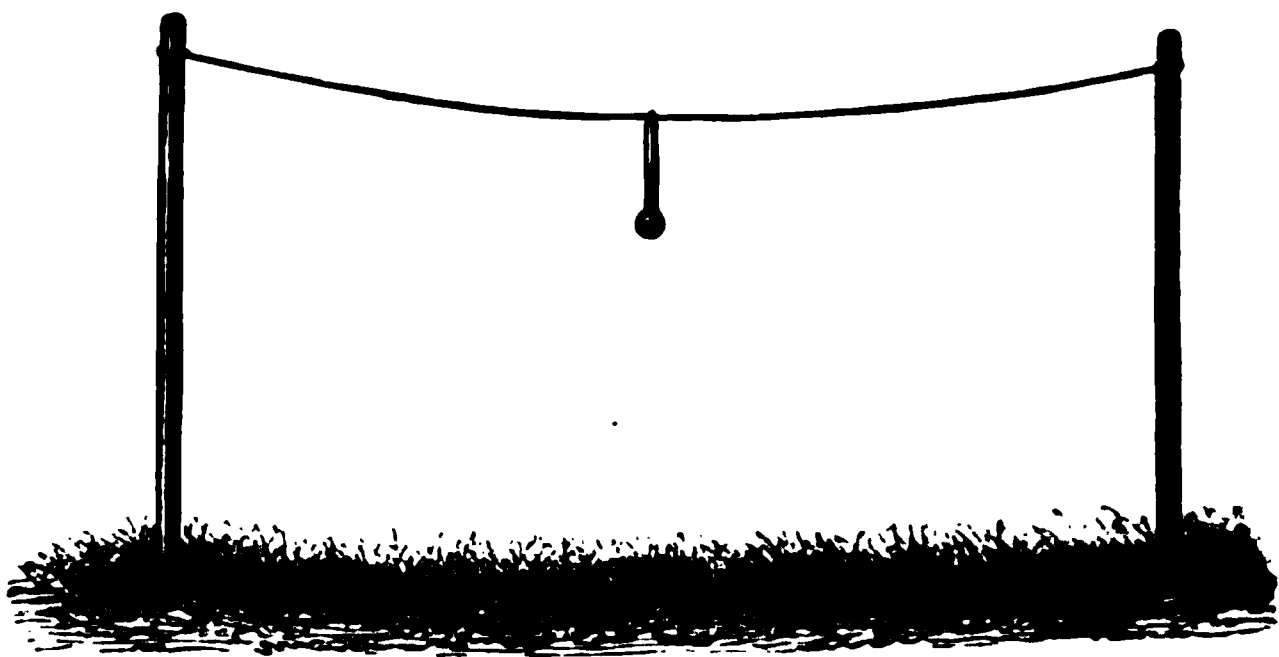
Gehäuse um mindestens 60 Centim. grösseres Gehäuse von oben zu stehen, welches nach Norden offen, auf der unteren Seite zwei Holzleisten zum Tragen des Blechkastens versehen. Dasselbe an einer ringsum freien Stelle, womöglich 3 Meter hoch sich befinden. Behufs der Ablesung wird eine feste Holz-Treppe an das Gerüst gestellt (Wild, Instruction für Stationen in Russland).

Das Thermometer, an welchem die Lufttemperatur abgelesen wird, ist in dem Blechgehäuse noch andere Instrumente, von denen die Rede sein wird.

(Jahresb. der Münchener Sternwarte für 1852) machte der Herr Direktor den Blick überraschende Beobachtung, dass ein Thermometer auf einem ganz freien Grasplatz (nicht auf einer nackten Erde, entfernt von Gebäuden und Bäumen, aufgehängt, also nicht geschützt, sondern auch den Strahlen der Sonne, wenn dieselbe nicht zu weit ist, eine Temperatur zeigt, welche nur wenig von der im Schatten abweicht. Zwischen zwei 8 Fuss hohen Pfählen 252 (a. f. S.), war ein dünner Draht ausgespannt, an

welchem ein Thermometer mit auf das Rohr eingätzter Scala mit Bindfaden ganz kurz angebunden war. Zwei Jahre lang (1850 1851) wurde der Stand dieses Thermometers von Morgens 7 Uhr Abends 6 Uhr von Stunde zu Stunde beobachtet und mit dem gl

Fig. 252.



zeitigen Stande eines im Schatten aufgehängten Thermometers vergl Die folgende Tabelle enthält die mittlere Differenz des Sonnent meters von der Temperatur im Schatten für die Stunden 7 Uhr Mo 12 Uhr Mittags und 6 Uhr Abends im Jahre 1850.

	7 Uhr.	12 Uhr.	6 Uhr.
Januar	— 0,05° R.	— 0,06° R.	— 0,08° R.
Februar	0,09	0,66	0,01
März	— 0,06	0,87	— 0,19
April	0,00	0,13	— 0,21
Mai	— 0,08	0,27	0,03
Juni	— 0,38	0,40	— 0,28
Juli	— 0,39	— 0,07	— 0,06
August	— 0,22	0,32	— 0,14
September	— 0,09	0,72	— 0,64
October	— 0,34	0,24	— 0,43
November	— 0,14	0,18	— 0,04
December	— 0,13	0,46	— 0,16
Mittel	— 0,15	0,34	— 0,18

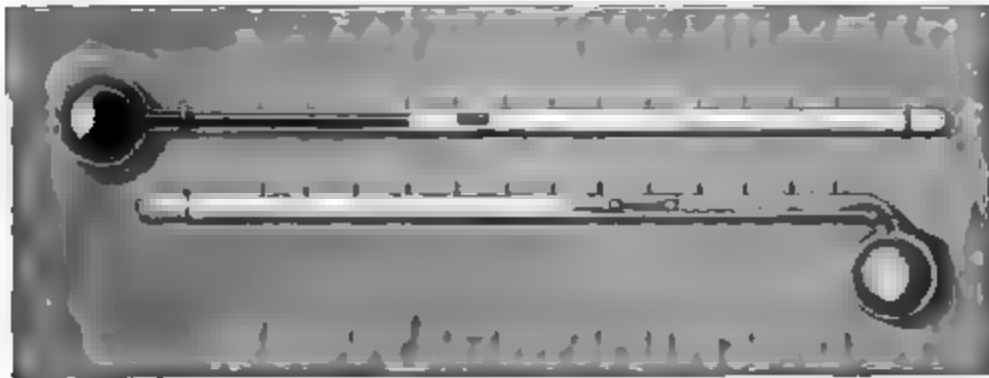
Es findet also an der Thermometerkugel eine fast vollständi flexion der Sonnenstrahlen Statt.

Ganz andere Resultate erhält man freilich, wenn man das Thermometer an einer von den Sonnenstrahlen beschienenen Wand aufhängt oder es über nacktem, von der Sonne beschienenem Sandboden anbringt. Unter solchen Umständen kann das Thermometer bis auf 40° R. und darüber steigen, es ist dies aber die Temperatur der Wand oder des Sandes, welche die Wärmestrahlen der Sonne stark absorbiren.

Maximum und Minimum-Thermometer. Es ist für die Meteorologie vielfach von Wichtigkeit, die höchste und niedrigste Temperatur zu kennen, welche innerhalb einer gegebenen Zeit, etwa innerhalb 24 Stunden geherrscht hat. Wollte man die Temperaturextreme eines Ortes durch Beobachtung gewöhnlicher Thermometer ermitteln, so müsste man die Temperatur immer nach je 30 Minuten, oder doch mindestens jede Stunde beobachten, ein äußerst mühsames und zeitraubendes und selbst für die Dauer nicht durchführbares Geschäft. Man hat deshalb auch versucht, Instrumente zu construiren, welche gestatten, das Maximum und Minimum der Temperatur abzulesen, welche zwischen zwei aufeinander folgenden Beobachtungsterminen stattgefunden hat. Wir wollen uns denselben näher betrachten.

Rutherford's schon 1794 construirter Thermometrograph ist in Fig. 253 abgebildet. Er besteht aus zwei Thermometern, deren Röhren

Fig. 253.

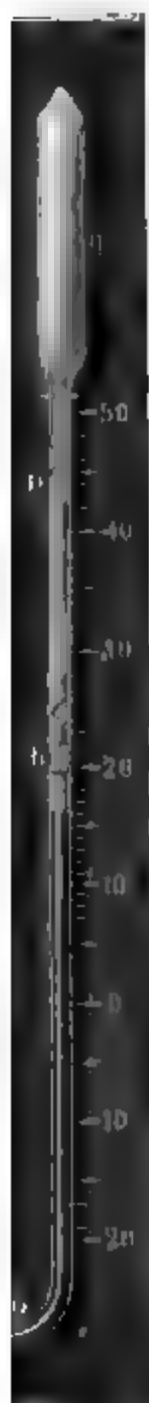


nebeneinander liegen, und von denen das eine ein Quecksilberthermometer, das andere ein Weingeistthermometer ist. In der Röhre des Quecksilberthermometers liegt ein Stahlstiftchen, welches durch die Quecksilbersäule geschoben wird, wenn sich das Quecksilber in der Kugel dieses Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer erkaltet, so zieht die Quecksilbersäule wieder zurück, das Stahlstäbchen aber bleibt an dem Orte liegen, bis zu welcher es bei dem höchsten Stande des Thermometers geschoben worden war; ein solches Thermometer giebt also das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewissen Periode geherrscht hat.

In der Röhre des Weingeistthermometers liegt ein ganz feines Glasstäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker ist, wie man Fig. 253 auch sieht; das Glasstäbchen liegt noch in dem Weingeistsäulchen,

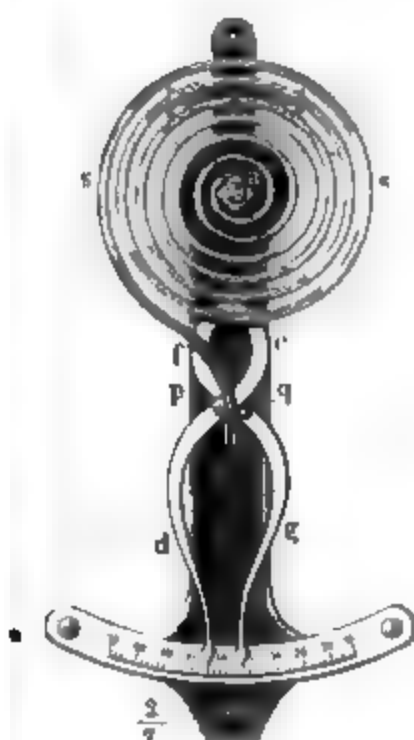
ährend der letzten 24 Stunden an, wenn das Instrument jeden beobachtet und die Indices wieder auf das Quecksilber herabwerden.

Rutherford'sche Instrument kommt ebenso wie das Six'sche leicht in Unordnung. Bei weitem zuverlässiger ist



das Metall-Maximum- und Minimum-Thermometer von Herrmann und Pfister in Bern. Es besteht aus einem ungefähr 1 Meter langen, 1 Centimeter breiten und 1,25 Millimeter dicken Stahlstreifen, auf welchem seiner ganzen Länge nach ein Messingstreifen von gleichen Dimensionen aufgelöthet ist. Dieser Metallstreifen ist dann derart zu einer Spirale *s*, Fig. 255, gebogen, dass der Stahl die äussere, das Messing die innere Seite der einzelnen Windungen bildet. Um das Rosten zu verhindern,

Fig. 255.



wird die ganze Spirale vergoldet. Das innere Ende der Spirale ist in einen festen Metallzapfen *a* eingesetzt, während das äussere Ende *b* frei bleibt. Bei einer bestimmten Temperatur nimmt *b* auch eine bestimmte Stellung ein; wird es wärmer, so dehnt sich das Messing stärker aus als der Stahl und in Folge dessen wird das freie Ende *b* der Spirale nach links bewegt, während es bei sinkender Temperatur nach rechts geht.

Hinter der Spirale sind nun zwei Zeiger *cd* und *fg* angebracht, welche um einen

mit der Axe der Spirale parallelen Zapfen mit leichter Reibung drehbar sind. Auf dem einen Zeiger ist ein Stift *p*, auf dem anderen ist ein Stift *q* befestigt, und

den Stifte ragen so weit vor, dass sie in das freie Ende *b* der anstossen, wenn man die Zeiger in der entsprechenden Richtung bringt man nun die beiden Stifte *p* und *q* mit *b* in Berührung,

die Spitzen der beiden Zeiger zusammen und zeigen auf den Grad der Scala, welcher der eben herrschenden Temperatur entspricht. Steigt die Temperatur, so wird zunächst der Stift *p* sammt dem *d* fortgeschoben, bis das Maximum der Lufttemperatur eingetreten der Stelle, an welcher der Zeiger *cd* in diesem Momente steht,

bleibt er aber auch stehen, wenn nun die Temperatur wieder ab- und das freie Ende b der Spirale wieder zurückgeht. — Wenn der b mit b in Berührung ist, so wird der Zeiger fg nach rechts geschoben, bis das Minimum der Lufttemperatur eingetreten ist, und bleibt stehen, wenn die Temperatur wieder steigt. — Mittels zweier hinter der Spirale befindlicher Schrauben ist man im Stande, den Zapfen, in welchem das innere Ende der Spirale befestigt ist, etwas nach der einen oder der anderen Seite zu drehen und so den Stand des Instrumentes reguliren.

In dem Gehäuse, Fig. 251, ist ausser zwei Quecksilberthermometern (die Kugel des einen ist aus später zu besprechenden Gründen mit einem Lappchen von Pergal oder feinem Leinen umwickelt) auch noch ein Maximum- und Minimum-Thermometer der eben besprochenen Art, sowie auch noch ein Haarhygrometer angebracht.

164 Die registrirenden Instrumente. Wenn es auch für die Mehrzahl der meteorologischen Stationen vollkommen genügend ist, den Stand der Instrumente dreimal täglich beobachtet und notirt zu werden, so ist es doch höchst wünschenswerth, die Beobachtungen eines grösseren Rayons durch die fortlaufenden Aufzeichnungen einer Centralstation gewissermaassen zu vervollständigen und so für die Wissenschaft bringender zu machen. Zur Ausführung solcher fortlaufender Aufzeichnungen hat man nun die selbstregistrirenden Instrumente construirt.

Die älteste Methode solcher Aufzeichnungen bestand darin, den Stand des betreffenden Instrumentes mit einem Bleistift zu versehen, welcher auf einem durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit geführten Papierstreifen eine Curve zeichnete, deren Abscissen die Zeit und deren Ordinaten aber dem jeweiligen Stande des Instrumentes entsprachen. Diese Methode, welche z. B. bei den Kreil'schen Registrir-Instrumenten in Verwendung gefunden hat, leidet an dem Uebelstand, dass bei denselben Instrumenten die Empfindlichkeit desselben durch die Reibung des Bleistifts auf dem Papier allzusehr beeinträchtigt wird.

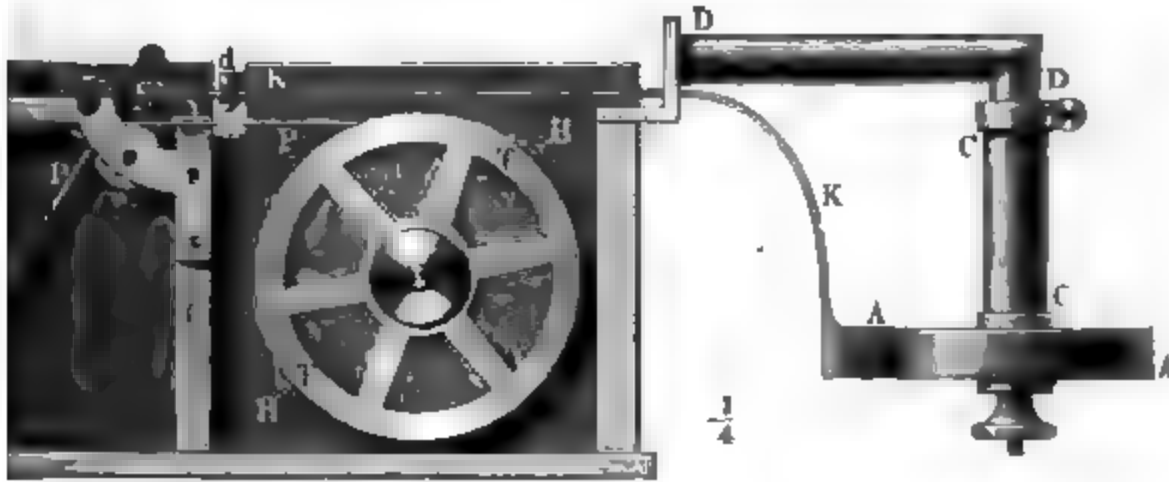
Lamont (Beschreibung der auf der Münchener Sternwarte angewendeten neuen Instrumente und Apparate, 1851) ersetzte den Papierstreifen durch eine um ihre Axe gedrehte Walze, deren Umfang mit Russ geschwärzt ist, den Bleistift aber durch einen Stahlstift.

Hipp änderte die ursprüngliche Methode dahin ab, dass er den Bleistift durch eine Nadelspitze ersetzte, welche nur von Zeit zu Zeit alle 10 Minuten momentan in das unterliegende Papier eingedrückt wird, die übrige Zeit hindurch aber nicht mit demselben in Berührung bleibt. Fig. 256 und Fig. 257 stellen ein Hipp'sches Registrir-Thermometer dar, wie es Wild von Hasler in Bern für die Berner Sternwarte ausführen liess.

Der thermometrische Apparat ist ein Metall-Thermometer

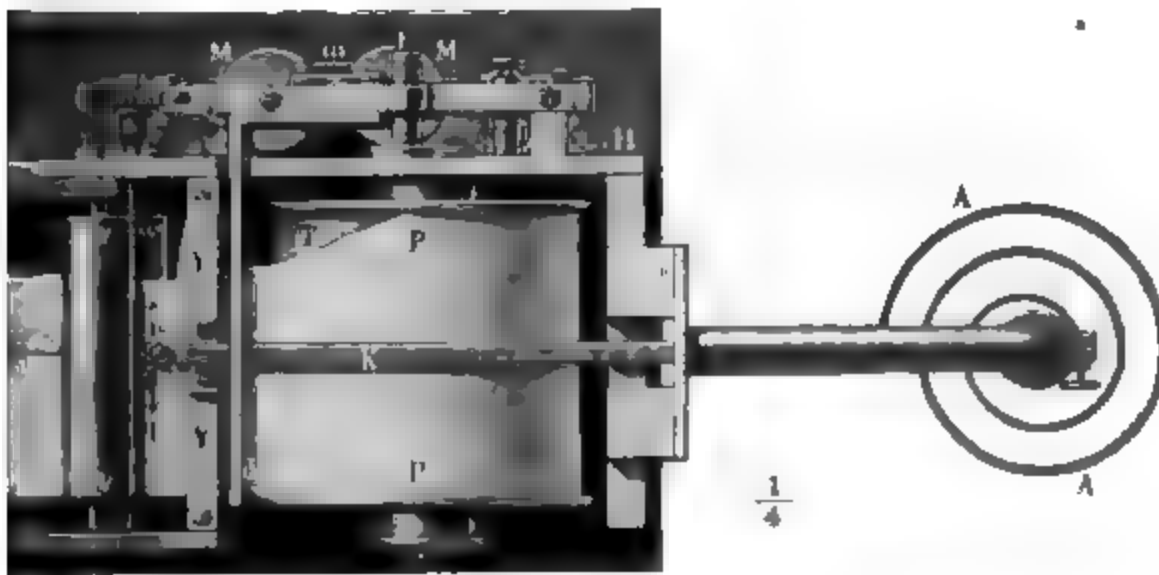
wir es bereits in §. 163 kennen lernten. Das innere Ende der 1 (welche übrigens nicht bloss 3 Windungen hat, wie es Fig. 257 sondern 7, wie man in Fig. 255, Seite 433, sieht) ist unverändert am unteren Ende der Messingröhre *C*, welche über den verti-

Fig. 256.



al eines ebenfalls röhrenförmigen Messingwinkels *DD* geschoben mit einer Zwinke daran festgeklemmt werden kann. Die Messingröhre ist an dem Gestelle des Schreibapparates in einer Weise befestigt, wie aus den Figuren 256 und 257 deutlich ersehen kann. Es ist nur noch bemerkt werden, dass, der Raumersparniss wegen, der horizontale Theil der Röhre *D* verhältnissmassig zu kurz und die *A* zu klein gezeichnet ist. Der horizontale Theil von *D* ist lang und der Durchmesser der Spirale beträgt 112^{mm}.

Fig. 257.



Ausseren Ende der thermometrischen Spirale ist ein leichter, nach Oben gehender, dann horizontal umgebogener Messingzeiger angebracht. In das freie Ende dieses Zeigers ist ein Stahlstift ein-gepresst, welcher unten eine Nadelspitze *s* trägt. Wenn es wärmer wird, sich die Spirale *A* etwas auf, die Spitze *s* wird also in der Richtung des angefederten Pfeilchens hin bewegt, während sie in der Rich-

dem Messingstäbchen d her durch einen feinen Schlitz, welcher der oberen Fläche der verticalen Messingwand G und der dargebrachten Messingplatte Y frei geblieben ist. Aus diesem Schlitz austretend gelangt dann der Papierstreifen unter der Spitze zwischen zwei Walzen v und w , welche beide um horizontale Achsen drehbar sind und von denen die obere v , durch die Federn h leicht gegen die andere angedrückt wird. Sobald nun die eine dieser Walzen in entsprechender Richtung gedreht wird, so wird der Papierstreifen in die Richtung des grösseren Pfeiles fortgezogen. Um die Walze w zum Theil sich sichtbar zu machen, erscheint in Fig. 257 ein Theil des Papierstreifens P herausgerissen.

Der Gang des Apparates ist folgender: Alle 10 Minuten wird der Strom einer Säule von 3 bis 6 grossen, 35^{cm} hohen, mit einer Mischung von Kochsalz und Alaun gefüllten Zink-Kohlenbechern durch einen guten Pendeluhr geschlossen und durch die Windung des Elektromagnets M hindurchgesandt, welcher auf der Rückseite der Messingwand H befestigt und dessen Ansicht in Fig. 258 gegeben ist. In dieser Figur ist nur der Anfang der Röhre T dargestellt, die thermische Spirale, welche er trägt, ist aber weggelassen). Sobald der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt wird, wird der Anker m an der linken Seite (Fig. 258) des Hebels l niedergezogen, wodurch das Niederdrücken des Messingstäbchens d bewerkstelligt wird, welches mittelst eines rechtwinklig umgebogenen Stückes am Hebel l befestigt ist. Das Niederdrücken des Stäbchens d bewirkt alsdann das Niederdrücken der Spitze s in das Papier, also die Markirung eines Punktes.

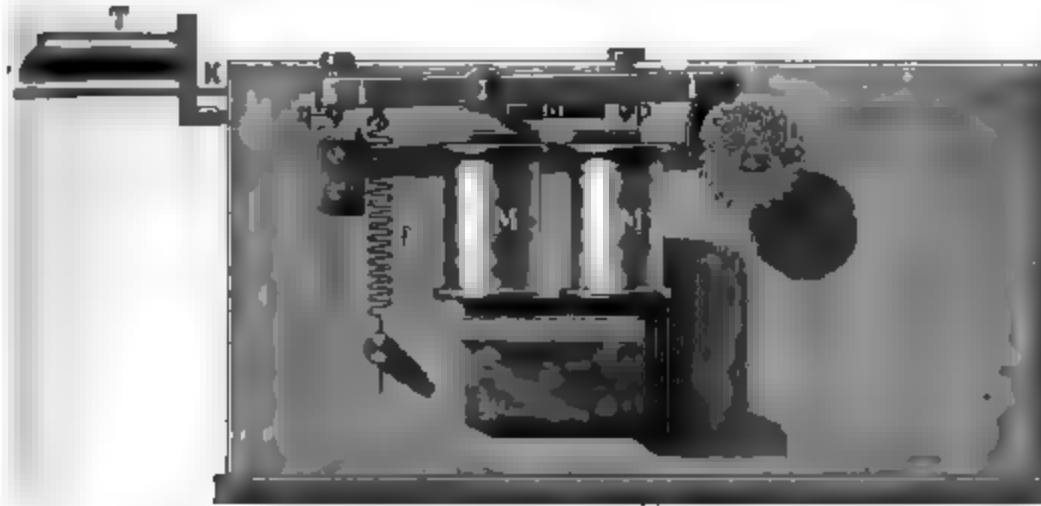
Mit dem Niedergang der rechten Seite des Hebels l wird auch hier leicht beweglich eingehängte Stahlhaken so weit hinab bewegt, dass er aus der Lücke des Zahnrades r , in welcher er bisher steckte, herausgeschoben wird und in die folgende Zahnücke einfällt. Wenn der Strom ganz kurz dauernder Schliessung der Strom wieder unterbrochen wird, so verliert der Elektromagnet also seinen Magnetismus wieder und die linke Seite des Hebels l durch die Feder f niedergezogen und das Rad r um einen Zahn weiter geschoben. Das Zahnrad r ist an der Axe der Walze w befestigt, so dass dieselbe also bei jeder Unterbrechung des Stromes um einen Winkel gedreht wird, welcher der Breite eines Zahnes des Rades r entspricht. Durch diese Dr

Die Walze w wird nun aber auch der Papierstreifen P um eine entsprechende Strecke vorgeschoben und ihm die Stellung gegeben, in welcher er bis zur Registrierung des nächsten Punktes verharret.

Die Bewegung des Hebels l ist einerseits durch die Schraube p , anderseits durch die Schraube q begrenzt.

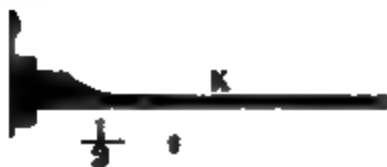
Das Drehen der Walze w , also das Fortziehen des Papierstreifens P , geschieht bereits ehe die Nadel s ganz aus dem von ihr im Papier gegebenen Loch zurückgezogen ist, sie würde also entweder die Bewegung des Papiers hemmen oder einen Riss in dasselbe machen, wenn dergleichen

Fig. 258.



durch eine besondere Vorrichtung verhindert würde. Die Spitze s ist nämlich nicht unmittelbar fest in das Ende des Zeigers K , sondern in einem Klötzchen eingesetzt, welches um die horizontale Axe b , Fig. 259, drehbar, in eine verticale rectanguläre Höhlung nahe am Ende des Zeigers K eingelassen ist. Wenn K nicht niedergedrückt ist, so nimmt das Klötzchen die in Fig. 259 verzeichnete Stellung ein, indem es durch sein Uebergewicht leicht gegen die verticale Wand der Höhlung gedrückt wird, welche die Oeffnung nach der rechten Seite (der Figur) begrenzt. Ist aber die Spitze in das Papier eingestochen und wird

Fig. 259.



dasselbe dann ein wenig nach links gezogen, so kann die Spitze mit dem Klötzchen leicht folgen, ohne das Papier zu zerreißen, weil eine kleine Drehung um den Zapfen b stattfinden kann.

Zum Schutz gegen Staub u. s. w. ist der Apparat mit Ausnahme der Spirale und ihres Trägers von einem dichten Gehäuse von Glas und Holz umgeben.

Um aus den markirten Punkten auf die ihnen entsprechende Temperatur zu schließen zu können, muss man ihren Abstand von einer bestimmten Baseline messen können, und eine solche wird durch den Apparat ungefähr in der Mitte des Papierstreifens parallel mit seinen Rändern gezogen. Es geschieht dies durch ein kleines, in unseren Zeichnungen nicht sichtbares Röllchen mit scharfem Rande, welches in einem

auf der Mitte der Messinglamelle *Y* aufgesetzten Metallstück angebracht ist und welchem eine kleine Vertiefung in der Unterlage entspricht.

Um aus dem Abstand der markirten Punkte von der Mittellinie die entsprechende Temperatur schliessen zu können, ist erforderlich die Temperatur zu ermitteln, für welche der Markirungspunkt gerade auf die Mittellinie fällt und welcher Temperaturänderung je 1 Millimeter der Ordinatenlängen entspricht. Um diese Bestimmungen auszuführen, wird die thermometrische Spirale ganz in ein Gefäss mit Wasser eingetaucht, dessen Temperatur man an einem guten Quecksilberthermometer ablesen kann. Wenn man annehmen kann, dass die Spirale ganz die Temperatur des Wasserbades angenommen habe, wird die Kette geschlossen und also ein Punkt markirt. Es sei *t* die Temperatur des Wasserbades und *a* der in Millimetern ausgedrückte Abstand des markirten Punktes von der Mittellinie, so haben wir

$$t - x = \pm a \cdot y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

wenn *x* die der Mittellinie entsprechende Temperatur, *y* aber die Temperaturänderung bezeichnet, welche einer Verlängerung der Ordinate um 1^{mm} entspricht. Das untere Zeichen gilt für den Fall, dass der Markirungspunkt unterhalb der Mittellinie liegen. Als z. B. die Temperatur des Wasserbades 5,3° C. betrug, fiel der Markirungspunkt 1,3^{mm} unter die Mittellinie, wir haben also die Gleichung

$$5,3 - x = - 1,3 y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Um die Werthe von *x* und *y* zu bestimmen, muss man wenigstens zwei solche Versuche bei möglichst weit von einander abstehenden Temperaturen anstellen. Als die Temperatur des Wasserbades 21,1° C. betrug, fand man, dass für dasselbe Instrument der Markirungspunkt 24,5^{mm} von der Mittellinie liege, wir haben also

$$21,1 - x = 24,5 y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Aus der Combination der beiden Gleichungen 2) und 3) ergibt sich

$$x = 6,096$$

$$y = 0,612$$

Für eine Temperatur von 6,096° C. werden also die Markirungspunkte gerade auf die Mittellinie fallen und einer Entfernung der Markirungspunkte um je 1^{mm} entspricht eine Temperaturänderung von 0,612°.

Da nun aber derartige Bestimmungen stets mit unvermeidlichen Fehlern beobachtet sind, so macht man statt zweier Beobachtungen mehrere, etwa 12, und nimmt aus den verschiedenen Werthen für *x* und *y*, welche sich aus ihnen ergeben, das Mittel. Aus 12 verschiedenen Beobachtungen fand z. B. Wild für das oben besprochene Instrument nach der Methode der kleinsten Quadrate

$$x = 6,054^{\circ} \text{ und } y = 0,6049^{\circ}.$$

akt, welcher um a Millimeter von der Mittellinie absteht, ist berechnende Temperatur

$$t = (6,054 \pm 0,60494 a)^{\circ} \text{C.}$$

Durch Verstellung der Spirale kann man die Lage der Mittellinie gegen die Punktenreihe verrücken, also den Werth von x verändern. — Fig. 260 ist das Facsimile der Temperaturcurve, welche ein derartiger Apparat zu Bern am 25. Juli 1861 (bürgerliche Zeit) von Mitternacht bis Mitternacht geschrieben hat. Von den geraden Linien dieser Figur ist nur die Mittellinie, welche in diesem Falle fast ganz genau der Temperatur von 15°C. entsprach, durch den Apparat selbst gezogen, die übrigen geraden Linien sowie die Zahlen sind nachträglich eingezeichnet.

Die Besprechung der Methoden, mit Hülfe deren man auf kürzestem Wege aus der Temperaturcurve eines Tages die mittlere Temperatur des Tages ableiten kann, würde uns hier zu weit führen.

Nach ähnlichen Principien hat man nun auch selbstregistrirende Barometer, Regenschauer, Hygrometer und Apparate construirt, welche die Richtung und die Stärke des Windes notiren. Die Beschreibung der genannten Apparate, wie dieselben auf der Sternwarte zu Bern aufgestellt sind, hat Wild in dem 2. Bande von Carl's Repertorium veröffentlicht. Wir werden theilweise noch auf diese Instrumente zurückkommen.

Von ganz besonderem Werthe für die Wissenschaft würden solche selbstregistrirende Instrumente sein, welche ein Jahr lang fortgehen, ohne eines Nachsehens zu bedürfen, weil sie an unbewohnten und unbewohnbaren Orten aufgestellt, Auskunft über meteorologische Fragen geben könnten, die auf keinem anderen Wege zu er-

Bis jetzt ist es freilich noch nicht geglückt, Apparate aus- che diesem Zweck vollkommen entsprechen, die gemachten ügen aber, um die Ausführbarkeit der Idee darzuthun.



Wild beabsichtigte, einen derartigen meteorologischen Registrirapp (für Temperatur, Windrichtung und Windstärke) auf dem Gipfel Schreckhorns aufzustellen; die Ausführung dieses Planes wurde durch dessen Berufung nach Russland verhindert.

165 * Die täglichen Variationen der Lufttemperatur. Nachdem wir nun die Hülfsmittel kennen gelernt haben, deren man bei um die Lufttemperatur an einem gegebenen Orte und zu bestimmten Zeiten zu ermitteln, wollen wir uns jetzt zur Betrachtung der Resultate wenden, welche man mit Hülfe dieser Instrumente erlangt hat. Wir wenden uns zunächst zur Betrachtung der täglichen Variationen.

Um zu erforschen, nach welchen Gesetzen die Temperatur der verschiedenen Luftschichten im Laufe eines Tages ändert, muss das Thermometer in regelmässigen, möglichst kurzen Zeitintervallen abgelesen werden, zwar sind zu diesem Zwecke mindestens stündliche Beobachtungen nöthig, d. h. das Thermometer muss bei Tag und bei Nacht von Stunde zu Stunde abgelesen werden. Die älteste derartige Beobachtungsreihe ist die, welche Chiminello zu Padua während eines Zeitraumes von 16 Monaten machte. Später wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe von Brewster's Veranlassung auf dem Fort Leith bei Edinburgh angeordnet, welcher dann bald noch weitere derartige Beobachtungsreihen folgten, unter denen wir die zu Halle, Göttingen, München, Kremsmünster, Prag, Brüssel, Greenwich, Apenrade, Rom, der karischen Pforte, Petersburg, Nertschinsk, Barnaul, Bombay, Madras, Rio de Janeiro, Frankfort-Arsenal bei Philadelphia, Insel Melville hervorheben.

Gegenwärtig ist die äusserst mühsame und zeitraubende Arbeit stündlicher Beobachtungen, welche ohne Zusammenwirken mehrerer Personen gar nicht ausführbar ist, an vielen Hauptstationen durch die Anstellung registrierender Instrumente, welche den Gang der Temperatur noch weit besser darstellen, überflüssig geworden.

Wenn man die stündlichen Beobachtungen oder die Aufzeichnungen registrierender Instrumente einzelner Tage betrachtet, so findet man, dass der Gang der Temperatur keineswegs ein so regelmässiger ist, wie nach §. 159 vermuthen sollte; er ist vielmehr ein ziemlich regelloser, von einem Tage zum anderen oft wechselnder. So geben z. B. die bei den untersten feingezogenen Curven der Fig. 1 Tab. 12, den München Beobachtungen zufolge, den Gang der Temperatur am 9. und 10. Januar 1841. Am 9. Januar stieg die Temperatur von 3 Uhr Nachmittags (8. Januar 15^h astronomische Zeit) ziemlich regelmässig bis 2 Uhr Nachmittags um 3 $\frac{3}{4}$ Grad, um dann bis zum 10. (9. Jan. 16^h astronomische Zeit) um 4 Uhr Morgens um 12 Grad zu sinken. Am 10. Januar sank dann das Thermometer in unregelmässigem Gange bis Mitternacht wieder um 9°. Die beiden fein gezeichneten Curven der Fig. 2 Tab.

den den Gang der Lufttemperatur zu München am 10. und 18. Juli dar.

Solche Anomalien und Differenzen lassen sich leicht erklären, wenn man bedenkt, dass der Gang der Temperatur allerdings von der Stellung der Sonne gegen den Horizont abhängt, dass aber die Wirkung der Sonnenstrahlen wesentlich durch die Windrichtung, den Bewölkungsstand des Himmels u. s. w. modificirt werden. Deshalb tritt denn nicht der normale Gang der täglichen Temperaturschwankungen nicht immer unmittelbar in die Erscheinung, sondern er kann nur als Mittel aus grösseren Beobachtungsreihen dargestellt werden.

Nimmt man aus allen während der Jahre 1841, 1842 und 1843 im Juli zu München Morgens um 4 Uhr gemachten Beobachtungen das Mittel, so erhält man $9,9^{\circ}$. Ebenso ergibt sich für 6 Uhr im Juli die mittlere Temperatur $12,2^{\circ}$; für 8 Uhr 14° , für Mittag 16° u. s. w. Die stark ausgezogene Curve in Fig. 2, Tab. 12 stellt den normalen Gang der täglichen Temperaturschwankungen zu München im Laufe des Monats dar, wie er sich aus den auf die angegebene Weise erhaltenen Mitteln ergibt.

Die stark ausgezogene Curve in Fig. 1, Tab. 12 hat die gleiche Bedeutung für den Monat Januar.

Im Durchschnitt steigt also zu München im Juli die Temperatur von Morgens an (kurz vor Sonnenaufgang) anfangs rasch, dann langsam bis 2 Uhr Nachmittags, um wieder anfangs rasch und dann langsam bis zum nächsten Sonnenaufgang abzunehmen.

Das Minimum der Temperatur findet also ungefähr zur Zeit des Sonnenaufgangs, das Maximum ungefähr um 2 Uhr Nachmittags Statt.

Die Differenz des täglichen Maximums und Minimums beträgt im Juli $6,2^{\circ}$ R.

Im Januar ist der normale Gang der täglichen Wärmeschwankungen ganz anderer. Das Minimum der Wärme findet gleichfalls zur Zeit des Sonnenaufgangs Statt, welcher aber jetzt auf eine weit spätere Stunde fällt, das Maximum ungefähr um 1 Uhr Nachmittags. Das tägliche Maximum ist aber im Durchschnitt nur um 2° höher als das tägliche Minimum.

Die Grösse der mittleren täglichen Temperaturveränderung ist, wie bereits gesehen haben, nicht für alle Monate dieselbe; sie beträgt zu München im Januar 2° , im Juli $6,2^{\circ}$. Ebenso ist die Grösse dieser mittleren täglichen Veränderung an verschiedenen Orten nicht dieselbe, wie aus folgender Tabelle ersieht, welche diese Grösse für verschiedene Orte und für die zwölf Monate des Jahres angiebt.

	Rio- Janeiro.	Bombay.	Frank- fort- Arsenal.	Rom.	Prag.	Halle.	Brüssel.	Green- wich.	Leith.	Peters- burg.	Nert- schinsk.	Boothia.
Januar . .	2,58 ⁰	3,47 ⁰	5,33 ⁰	4,55 ⁰	1,42 ⁰	1,89 ⁰	1,81 ⁰	2,21 ⁰	1,18 ⁰	1,27 ⁰	4,94 ⁰	0,26 ⁰
Februar .	2,79	3,23	5,64	5,61	2,85	3,38	2,62	2,84	1,59	1,52	6,33	1,54
März . . .	2,70	2,63	6,05	5,81	3,52	4,04	4,08	4,80	2,74	3,51	7,47	5,76
April . . .	2,47	2,32	6,86	6,35	6,10	6,32	6,62	5,71	4,70	5,71	7,73	5,33
Mai . . .	2,73	2,07	7,35	6,61	4,61	7,47	6,68	6,17	3,82	6,41	9,30	5,41
Juni . . .	2,81	1,98	7,81	7,76	6,20	7,40	6,43	6,80	3,71	6,03	9,02	5,03
Juli . . .	3,31	1,21	7,78	7,95	5,02	7,36	5,45	5,78	4,25	5,25	7,48	3,64
August . .	2,67	1,47	6,97	7,71	4,67	7,14	7,11	6,55	3,37	6,40	7,92	2,72
September	2,29	1,76	7,80	7,05	4,86	6,42	5,63	5,63	3,58	5,06	7,94	1,60
October .	2,13	2,70	7,49	7,00	3,45	5,42	3,36	4,08	2,16	2,34	7,91	1,03
November	2,54	3,21	4,27	5,58	2,40	2,76	2,17	2,64	1,85	0,77	5,11	0,63
December	2,00	3,89	4,76	4,53	2,05	1,67	2,30	1,87	1,03	0,83	4,17	0,27

Es sind dies die mittleren Differenzen zwischen dem Maximum Minimum desselben Tages. An einzelnen Tagen ist diese Differenz grösser, an anderen wieder bedeutend kleiner. Die folgende Ta- enthält die grösste und die kleinste Differenz zwischen dem Maxi- und Minimum desselben Tages, welche während einiger Jahre zu kfurt a. M. in den einzelnen Monaten beobachtet worden ist.

	Grösste Differenz			Kleinste Differenz		
	1844	1845	1846	1844	1845	1846
ir . . .	6,3 ⁰	5,6 ⁰	7,2 ⁰	1,0 ⁰	0,2 ⁰	0,7 ⁰
iar . . .	9,1	10,8	8,5	2,1	1,2	0,7
. . . .	8,8	9,7	12,6	2,1	1,7	1,5
. . . .	12,9	11,8	11,0	2,3	2,3	3,0
.	12,1	11,7	13,9	2,6	3,2	1,9
.	13,6	12,0	12,0	5,0	3,1	1,7
.	10,9	12,9	14,2	2,9	1,6	4,6
st . . .	12,3	12,2	11,2	1,9	2,1	3,5
mber . .	12,2	11,8	13,3	2,7	2,6	3,0
er . . .	9,3	8,1	9,5	2,1	2,2	2,5
mber . .	5,7	7,6	6,8	0,5	2,0	0,8
nber . .	7,5	8,0	9,1	0,3	0,2	0,6

Diese Data sind den meteorologischen Beobachtungen des physi- schen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen.

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des 166
res. Nimmt man aus den 24 im Laufe eines Tages gemachten
peraturbeobachtungen das Mittel, so erhält man die mittlere Tem-
tur des Tages.
Hat man auf diese Weise die mittlere Temperatur aller Tage eines
ts ermittelt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats,
man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.
Die aus den 12 Monatsmitteln gezogene Mittelzahl giebt dann die
lere Temperatur des ganzen Jahres an.
So ergeben sich z. B. aus den zu Berlin angestellten Beobachtungen
nde Mittelwerthe für die Temperatur der einzelnen Monate und des
en Jahres von 1829 bis 1834 :

	1829	1830	1831	1832	1833	1834	D
Januar . .	— 4,66	— 6,11	— 3,71	— 1,13	— 2,69	2,83	— 1,1
Februar .	— 2,88	— 2,40	0,60	0,97	3,01	1,16	— 0,1
März . . .	1,38	3,88	3,14	3,16	1,77	3,74	2,1
April . . .	7,19	8,41	9,00	7,20	5,06	6,20	6,1
Mai	9,49	11,22	9,98	9,49	14,38	12,74	10,1
Juni	14,56	14,01	12,60	13,61	15,27	15,17	13,1
Juli	15,43	15,39	15,40	12,64	14,59	18,69	13,1
August . .	13,85	14,17	14,63	14,65	11,31	16,77	14,1
September	11,59	11,18	10,53	10,53	11,27	12,49	11,1
October .	6,35	7,28	9,74	7,62	7,04	7,69	7,1
November	0,71	4,72	2,71	2,62	3,39	3,81	3,1
December .	— 6,93	— 0,47	1,43	1,08	3,80	1,68	1,1
Jahr	5,50	6,77	7,16	6,86	7,35	8,58	7,1

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraums ermittelt, so ergibt sich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen desselben Monats, wie man sie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf diese Weise haben sich aus einer Reihe von 24 Beobachtungsjahren die allgemeinen Monatsmittel für Berlin ergeben, wie man sie in der letzten Columne obiger Tabelle unter *D* findet.

Auf gleiche Weise ergibt sich das allgemeine Jahresmittel, welches für Berlin 7,18° R. ist.

Je länger die Beobachtungsreihen fortgesetzt sind, desto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Es ist für die Meteorologie von der höchsten Wichtigkeit, das allgemeine Jahresmittel und die allgemeinen Monatsmittel von möglichst vielen Orten der verschiedensten Weltgegenden zu kennen; dahin will man aber nicht leicht gelangen, wenn es nöthig wäre, wirklich von Stunde zu Stunde das Thermometer zu beobachten.

Solche stündliche Beobachtungen sind viel zu mühsam, sie bedürfen des Zusammenwirkens mehrerer Personen, und deshalb werden sie an verhältnissmässig wenigen Orten angestellt werden können. Glücklicherweise kann man die mittlere Tages-, Monats- und Jahrestemperatur eines Ortes auch aus einer geringeren Anzahl von Beobachtungen ableiten, welche zu bequemen Tagesstunden angestellt werden.

Von der Mannheimer Societät wurden zu diesem Zwecke die Beobachtungsstunden 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends vorgeschlagen, und diese Stunden werden auch in der That an den meisten Beobachtungsstationen von Deutschland und Nordamerika eingelegt. Andere ganz passende Beobachtungsstunden sind 6 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 8 Uhr Abends; oder die gleichnamigen Stunden 6 Uhr Morgens und 6 Uhr Abends, 7 Uhr Morgens und 7 Uhr Abends u. s. w.

Nimmt man das Mittel aus den Temperaturbeobachtungen, welche zu einer Zeit irgend einer der angedeuteten Stundencombinationen gemacht worden, so erhält man eine Zahl, welche dem wahren Tagesmittel sehr nahe ist; ebenso erhält man nahezu das wahre Tagesmittel, wenn man das Mittel aus den täglichen Extremen nimmt, wie sie am Thermometrographen beobachtet werden.

Wie weit nun die auf diesem Wege erhaltenen Mittelzahlen mit den wahren Mitteln übereinstimmen, welche Correctionen etwa an ihnen anzu bringen sind, kann man jedoch nur durch Vergleichung mit den stündlich angestellten Beobachtungen erfahren. Eine ausführliche Untersuchung über diesen Gegenstand hat Dove in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1846 veröffentlicht (Seite 81). In diesem Aufsatz finden sich Tabellen, die angeben, welche Correction man an die aus einer beliebigen Stunde des Tages oder aus irgend einer Stundencombination gezogenen Mittelzahlen anbringen muss, um die wahren Mittel zu finden. Diese Tafeln enthalten für 27 verschiedene Orte, die man als Normalstationen bezeichnen kann, unmittelbar die in Réaumur'schen Graden anzubringende Verbesserung, um die zu irgend einer Stunde erhaltene Temperatur auf das tägliche Mittel zu reduciren. Ferner ist die Correction für die aus den gleichnamigen Stunden 6 . 6, 7 . 7 u. s. w., aus den Combinationen 7 . 2 . 9, — 6 . 2 . 8 u. s. w. und aus den täglichen Extremen erhaltenen Resultate beigelegt. Die folgenden Tabellen für Halle und Kremsmünster sind ein Auszug aus den Dove'schen; aus ihnen kann man die Einrichtung und den Gebrauch solcher Tabellen erschen.

Monate.	H a l l e.										K r e m s m ü n s t e r.						
	Morgens			Nachmittags			7 . 7	7 . 2 . 9	Tägliche Extreme	Morgens			Nachmittags		7 . 7	7 . 2 . 9	Tägliche Extreme
	6	9	12	3	6	12				3	6						
Januar . .	0,72	0,05	— 0,82	— 1,06	— 0,30	0,30	— 0,11	— 0,23	0,88	0,35	— 0,93	— 1,12	— 0,35	0,33	— 0,12	— 0,07	
Februar .	1,30	— 0,08	— 1,29	— 1,86	— 0,59	0,51	— 0,20	— 0,33	1,24	0,67	— 1,37	— 1,99	— 0,57	0,45	— 0,22	— 0,17	
März . .	1,42	— 0,06	— 1,73	— 2,10	— 0,91	0,45	— 0,18	— 0,20	1,81	0,30	— 1,56	— 1,99	— 1,08	0,43	— 0,13	— 0,07	
April . .	1,98	— 0,98	— 2,58	— 3,26	— 1,78	0,51	— 0,34	— 0,16	1,88	0,14	— 1,65	— 2,04	— 1,18	0,37	— 0,12	— 0,02	
Mai . .	1,30	— 1,34	— 2,66	— 3,37	— 2,24	— 0,14	— 0,71	0,37	1,86	— 0,45	— 2,09	— 2,67	— 1,62	0,07	— 0,41	— 0,24	
Juni . .	1,18	— 1,34	— 2,68	— 3,46	— 2,22	— 0,16	— 0,70	0,24	1,54	— 0,86	— 2,17	— 2,62	— 1,66	— 0,18	— 0,52	— 0,31	
Juli . .	1,24	— 1,30	— 2,65	— 3,54	— 2,16	— 0,08	— 0,65	0,14	1,54	— 0,42	— 1,75	— 2,33	— 1,38	0,09	— 0,31	— 0,15	
August . .	1,90	— 1,20	— 2,90	— 3,57	— 1,96	0,26	— 0,49	0,00	1,80	— 0,37	— 1,86	— 2,46	— 1,49	0,13	— 0,32	— 0,17	
September	1,97	— 1,14	— 2,72	— 3,27	— 1,83	0,43	— 0,35	— 0,09	2,34	0,28	— 1,81	— 2,65	— 1,66	0,38	— 0,23	— 0,14	
October .	1,90	— 0,71	— 2,44	— 2,76	— 1,20	0,61	— 0,29	— 0,30	1,91	0,62	— 1,68	— 2,49	— 1,14	0,48	— 0,28	— 0,19	
November	0,92	— 0,31	— 1,35	— 1,52	— 0,40	0,39	— 0,20	— 0,35	0,93	0,51	— 0,97	— 1,28	— 0,41	0,35	— 0,17	— 0,13	
December .	0,52	— 0,00	— 0,90	— 0,94	— 0,20	0,28	— 0,10	— 0,25	0,54	0,38	— 0,78	— 0,91	— 0,11	0,29	— 0,16	— 0,07	

selben Correctionselemente, die für irgend einen Ort ermittelt werden nun aber auch für einen grossen Umkreis ohne merklicher gelten können. Hätte man also z. B. in Leipzig das Thermometer den ganzen Januar hindurch nur Mittags 12 Uhr beobachtet, den 31 Beobachtungen das Mittel genommen, so hätte man von diesem Mittel noch die Zahl 0,82 abzuziehen, um das wahre Monatsmittel zu erhalten. Hätte man in den Stunden 7. 2. 9 beobachtet und das Mittel aus diesen 31 Beobachtungen des Juli genommen, so würde dieses so genannte Mittel noch um 0,65° höher sein als das wahre Monatsmittel.

Isotothermen. Wir haben nun den Weg kennen gelernt, 167 nach welchem man die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel eines Ortes ermitteln kann. Entsprechende Beobachtungen sind bisher und nach an Orten aller Welttheile gemacht und die daraus resultirenden Mittelwerthe in Tabellen zusammengestellt worden. Die wichtigste Tabelle der Art ist die, welche Dove in den Abhandlungen der Akademie vom Jahre 1846 veröffentlicht hat (S. 153). Sie enthält 900 Stationen die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel. Wir wollen uns zunächst mit der Betrachtung der Jahresmittel beschäftigen.

Nachfolgende Tabelle, welche der angeführten Dove'schen entnommen ist, enthält das allgemeine Jahresmittel für 164 verschiedene Réaumur'schen Graden.

Westindien.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
.	17° 8'	61° 48' W.	—	21,15
.	32 20	64 50	—	15,73
.	18 29	70	—	21,91
.	23 9	82	—	20,07
.	10 43	71 52	—	23,45
do	5 45	55	—	21,47

Mexico und Südamerika.

Bogata . . .	4° 36'	74° 14' W.	8100'	12,33
.	19 26	99 6	6990	12,70
.	12 3 S.	77 8	530	18,36
.	0 14 S.	78 45	8970	12,49
ro	22 54 S.	43 16	—	18,56
Inseln	52 0 S.	61	—	6,77

Vereinigte Staaten von Nordamerika und Canada.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittle Jahr temper
Albany	42° 39'	73° 44' W.	123	7,
St. Augustin	29 50	81 27	—	17,
Augusta	33 28	81 54	—	13,
Baltimore	39 18	76 35	—	9,
Charlestown	32 47	79 57	—	15,
Cincinnati	39 6	84 27	—	9,
Concord	43 12	71 29	—	5,
Councilbluffs	41 25	95 43	760	8,
Halifax	44 39	63 38	—	3,
St. Louis	38 36	89 36	—	10,
Marietta	39 25	81 30	—	9,
Natchez	31 34	91 25	—	13,
New-Orleans	29 58	90 7	—	16,
New-York	40 43	74 1	—	8,
Pittsburg	40 32	80 8	—	9,
Fort Ross	38 34	123 59	—	9,
Quebec	46 48	71 17	—	4,
Salem	42 31	70 54	—	7,
Fort Snelling	44 53	93 8	820	0,
Fort Vancouver	48 37	122 37	—	1,

Polarländer.

Boothia Felix	69° 59'	92° 1' W.	—	— 1
Fort Franklin	65 12	123 13	230	—
Insel Melville	74 47	110 48	—	— 1
Nain	57 10	61 50	—	—
Reykjavig	64 8	21 55	—	—
Sitcha	57 3	135 18	—	—
Fort Simpson	62 11	121 32	—	—

Grossbritannien.

Bristol	51° 27'	2° 36' W.	—	4
Carlisle	54 54	2 58	36	6
Dublin	53 21	6 11	—	7
Edinburgh	55 58	3 11	220	6
Liverpool	53 25	2 59	—	8
London	51 30	0 5	—	8
Plymouth	50 22	4 7	—	8
Thorshavn	62 2	6 46	—	6
Wick	58 29	3 5	—	6

Frankreich.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
.	44° 50'	0° 35' 0	—	11,13
.	51 5	2 22	—	8,69
.	43 18	5 22	140'	11,34
.	43 36	3 53	100	12,23
.	47 13	1 33	—	10,18
.	48 50	2 20	114	8,58
.	42 42	2 54	160	12,33
.	46 9	1 10	—	9,34
.	43 7	5 55	76	13,46

Niederlande.

.	52° 23'	4° 53' 0.	—	7,94
.	50 51	4 22	—	8,30
.	50 39	5 32	—	9,19
.	51 56	4 29	—	8,45

Schweiz.

.	47° 34'	7° 32' 0.	750	7,69
.	46 57	7 26	1790	6,21
d	45 50	6 6	7670	— 0,81
.	46 50	9 38	1890	7,60
.	47 26	10 22	1700	7,33
.	46 12	6 10	1250	8,20
d	46 32	8 33	6650	— 0,84
.	46 31	6 38	1530	7,51
.	47 23	8 32	1250	7,14

Italien.

.	37° 46'	15° 1' 0.	9210	— 1,08
.	44 30	11 21	270	11,44
.	44 47	11 15	220	12,11
.	44 24	8 54	—	13,68
.	45 28	9 11	720	10,30
.	38 11	15 34	30	14,98
.	40 52	14 15	—	12,25
.	38 7	13 22	—	15,60
.	41 54	12 25	160	12,66
.	45 4	7 41	867	9,39
.	45 26	12 21	—	10,41

Deutschland.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittel Jahrestem- peratur
Augsburg	48° 21'	10° 53' 0.	1470'	6.0
Berlin	52 30	13 24	100	7.1
Braunschweig	52 15	10 32	300	7.9
Breslau	51 7	17 2	370	6.6
Brocken	51 48	10 37	3500	0.7
Carlsruhe	49 1	8 25	320	8.3
Coblenz	50 22	7 36	200	8.6
Danzig	54 20	18 41	—	6.0
Dresden	51 3	13 44	360	7.4
Düsseldorf	51 14	6 47	90	8.7
Frankfurt a. M.	50 10	8 37	333	7.3
Halle	51 30	11 57	340	6.9
Hamburg	53 33	9 53	—	7.1
Heidelberg	49 28	8 42	313	8.6
Innsbruck	47 16	11 23	1770	7.4
Königsberg	54 43	20 29	70	4.9
München	48 9	11 36	1573	7.9
Prag	50 5	16 46	583	9.1
Strassburg	48 35	7 45	418	7.2
Tübingen	48 31	9 3	990	6.1
Wien	48 13	16 23	450	7.2
Würzburg	49 48	9 56	525	8.2

Skandinavien.

Bergen	60° 24	5° 18 0.	—	6.2
Christiansia	59 35	10 43	75	4.9
Drivathelm	60 36	10 25	—	3.1
Kiäbod	60 35	23 24	70	1.5
Kopenhagen	55 41	12 35	—	6.2
Land	55 42	15 11	60	3.2
Stockholm	59 21	18 4	130	4.4
Torva	60 24	15 47	—	— 0.

R u s s l a n d.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
.	64° 32'	40° 33' O.	—	0,68
.	46 21	48 8	70'	8,02
.	53 20	83 27	370	— 0,28
.	68 30	20 47	1380	— 4,18
.	52 17	104 17	1355	0,27
.	62 1	129 44	—	— 8,25
.	55 48	49 7	140	1,53
.	55 45	37 38	380	3,57
.	51 18	119 20	2100	— 3,17
.	59 56	30 18	—	3,38
.	44 36	33 32	—	9,32
.	41 41	45 17	—	10,11
.	70 58	138 24	—	— 12,44

, Galizien und Küsten des mittelländischen Meeres.

.	44° 27'	26° 8' O.	—	6,38
.	47 29	19 3	810	6,88
pel	41 0	29 0	—	10,87
.	35 29	24 0	—	14,42
.	33 21	44 22	—	18,52
.	36 47	0 33	—	14,34
.	36 48	10 11	—	16,34
.	41 23	2 12	—	13,79
.	36 7	5 21 W.	—	15,75
.	38 42	9 9 W.	—	13,07
.	40 25	3 41 O.	1940	11,63
.	30 2	29 48	—	17,84

T r o p i s c h e s A f r i k a.

.	32° 38'	16° 56' W.	80	15,83
.	5 30	0 0	—	21,95
.	15 55S.	5 43 W.	1660	13,07
.	33 56S.	18 28 O.	—	15,32
.	13 10	14 30	—	22,95
uritius	—	—	—	21,08
.	28 15	50 54	—	20,03

Ostindien und Chipa.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittel Jahr temper
Ava	21° 58'	96° 5' O.	—	20,
Batavia	6 9 S.	106 53	—	20,
Benares	25 18	82 56	300'	21,
Bombay	18 56	72 54	—	21,
Calcutta	22 38	88 20	80	22,
Canton	23 8	113 16	—	16,
Colombo	6 57	80 0	—	21,
Darjiling	27 7	88 21	6960	10,
Macao	22 11	113 34	—	17,
Madras	13 4	80 19	—	22,
Manilla	14 36	129 0	—	20,
Mastorea	30 27	78 2	6100	10,
Peking	39 54	116 26	—	10
Seringapatam	12 45	76 51	2270	19
Singapore	1 17	103 50	—	21
Trevandrum	8 31	77 0	—	21

A u s t r a l i e n .

Adelaide	34° 58' S.	138° 45'	—	16
Albany	35 2 S.	117 55	—	12
Fort Dundas	11 25 S.	132 25	—	21
Hobarttown	42 53 S.	147 28	—	9
Paramatta	33 49 S.	151 1	—	14

Aus dieser Tabelle ersieht man zunächst, dass Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch gleiche mittlere Jahreswärmen. Vergleichen wir in dieser Beziehung nur Nordamerika mit Europa, so tritt ein auffallender Unterschied hervor. New-York liegt etwas südlicher als Rom, und doch ist seine mittlere Jahreswärme 4° R. geringer; die Stadt Bergen in Norwegen hat noch eine mittlere Jahreswärme von 6,57°, während zu Nain auf der Küste Labradors (10' n. Br.), einem um drei Breitengrade südlicher gelegenen Orte, die mittlere Jahreswärme nur — 1,86° beträgt. Bei gleicher geographischer Breite ist es in Nordamerika also stets kälter als in Europa. Ein ähnliches Verhältniss stellt sich bei der Vergleichung von Europa mit nördlichen Asien heraus.

Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme an

hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien ermöglicht, durch welche er auf einer Erdkarte alle Orte derselben Sphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Isothermen und die Vertheilung der Wärme auf der Erde erschien im Jahre 1817 im dritten Bande der „*Mémoires de la Société d'Arcueil*“.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle, welche die mittlere Jahreswärme für 60 verschiedene Orte angiebt, und nach diesen legte er die Isothermen. Seit jener Zeit aber sind durch zahlreiche Beobachtungen die klimatischen Verhältnisse vieler Orte genauer ermittelt worden, ohne dass dadurch der Typus der grossen Krümmungen der Isothermen, wie sie von Humboldt bestimmt worden waren, eine wesentliche Aenderung erfahren hätte.

Die bereits erwähnte Tabelle, welche die mittlere Jahreswärme für verschiedene Orte enthält, zu Grunde legend, hat Dove eine Isothermenkarte construirt, welche auf Tab. XVI wiedergegeben ist.

Auf dieser Karte sind die Isothermen von vier zu vier Grad Réaumur und jeder Linie ist die entsprechende Gradzahl beigeschrieben.

Der Gürtel der Erde, dessen mittlere Jahrestemperatur mehr als 50° beträgt, ist roth angelegt, während die Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter 0° ist, durch blaue Färbung unterschieden sind.

Die neuesten Isothermenkarten, zu deren Construction das zahlreichste Beobachtungsmaterial der letzten Jahre benutzt wurde, hat Dove im Jahre 1864 veröffentlicht. Diese Karten zeigen die isothermischen Linien in Polarprojection. In Tab. XVII sind diese neuen Dove'schen Jahresisothermen vom Nordpol bis zum 40sten Grade nördlicher Breite eingetragen.

Ein Vergleich dieser Tafel mit Tab. XVI zeigt, dass die Folge neuerer Beobachtungen der Lauf der Jahresisothermen nicht anders herausgestellt hat als er auf Tab. XVI dargestellt ist.

Aus den Karten Tab. XVII ersieht man ferner, dass die niedrigste mittlere Jahrestemperatur nicht auf den Nordpol fällt, dass aber auch nach Brewster's, nach welcher es zwei Kältepole geben soll, von denen der eine auf den amerikanischen, der andere auf den asiatischen Nordpol fallen soll, nicht richtig ist.

Der Vergleich dieser Tafel mit Tab. XVI zeigt, dass die Folge neuerer Beobachtungen der Lauf der Jahresisothermen nicht anders herausgestellt hat als er auf Tab. XVI dargestellt ist.

Aus den Karten Tab. XVII ersieht man ferner, dass die niedrigste mittlere Jahrestemperatur nicht auf den Nordpol fällt, dass aber auch nach Brewster's, nach welcher es zwei Kältepole geben soll, von denen der eine auf den amerikanischen, der andere auf den asiatischen Nordpol fallen soll, nicht richtig ist.

Der Vergleich dieser Tafel mit Tab. XVI zeigt, dass die Folge neuerer Beobachtungen der Lauf der Jahresisothermen nicht anders herausgestellt hat als er auf Tab. XVI dargestellt ist.

Aus den Karten Tab. XVII ersieht man ferner, dass die niedrigste mittlere Jahrestemperatur nicht auf den Nordpol fällt, dass aber auch nach Brewster's, nach welcher es zwei Kältepole geben soll, von denen der eine auf den amerikanischen, der andere auf den asiatischen Nordpol fallen soll, nicht richtig ist.

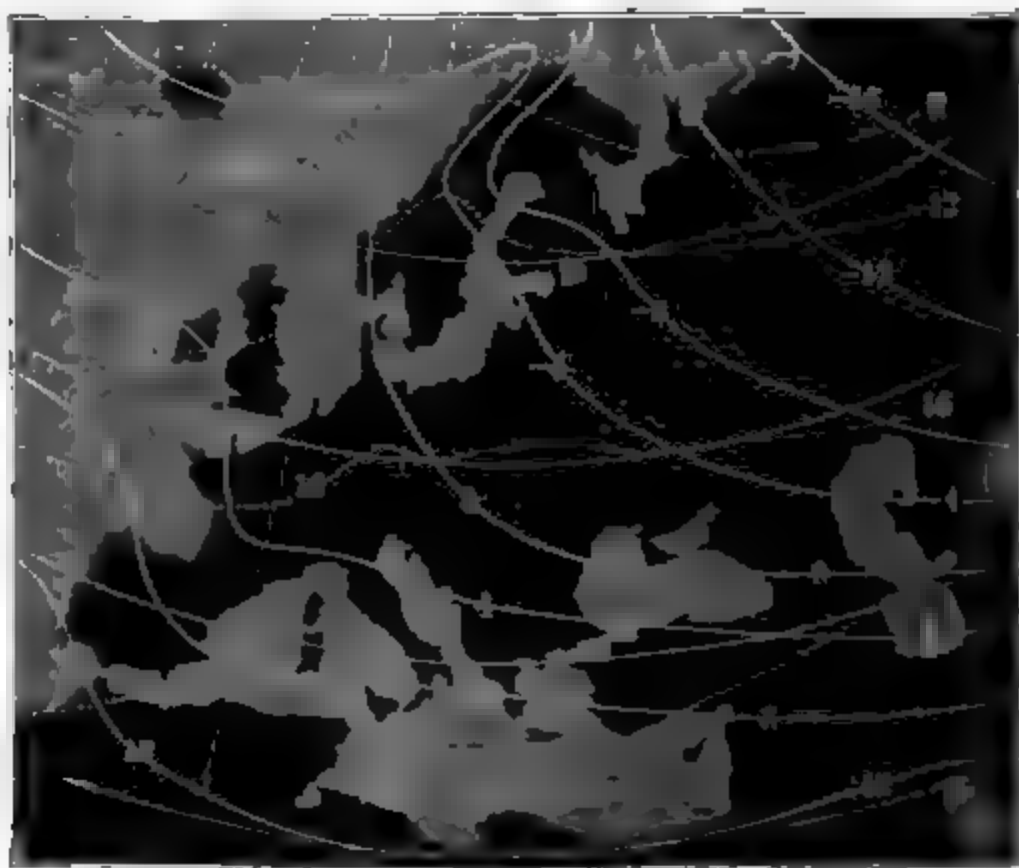
Monatsisothermen. Wenn man die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes kennt, so genügt dies noch keineswegs, um ein richtiges Bild von den klimatischen Verhältnissen desselben zu geben; denn bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur kann der Gang der Wärme im Laufe des Jahres, die Vertheilung der Wärme auf die einzelnen Jahreszeiten sehr verschiedene sein. So haben z. B., wie man aus obiger Tabelle sieht, Edinburgh und Tübingen fast gleiche mittlere Jahreswärme (6,72° C., 57° R.), in Edinburgh aber ist die mittlere Temperatur des Winters - 2,9°, in Tübingen hingegen nur 0,16°. Tübingen hat also einen kälteren Winter als Edinburgh, dagegen ist die mittlere Sommer-

temperatur für Tübingen $13,7^{\circ}$, für Edinburgh nur $11,3^{\circ}$. Bei gleich mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburgh einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, muss man aber der mittleren Jahrestemperatur auch noch wissen, wie sich die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte nach Humboldt's Beispiel dadurch andeuten, dass man an den verschiedenen Stellen einer und derselben Karte die mittlere Sommertemperatur des entsprechenden Ortes als die entsprechende Wintertemperatur aber unter die Curve setzt.

Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur haben, und dann wieder diejenigen, für welche die mittlere Sommertemperatur gleich ist. Die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heissen Isothermen, die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heissen Isochimenen. Fig. 261 stellt ein Kärtchen Europa mit den Isothermen und Isochimenen von 4 zu 4 Grad dar.

Fig 261



Die ausgezogenen Curven sind die Isochimenen, die punktirten sind die Isothermen. Man sieht aus dieser Karte leicht, dass die Westküste des südlichen Theils von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Preussen und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber gleichen Sommer mit dem Ausfluss der Garonne, und in d

in ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat eine gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 4° , mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel, und gleiche Sommerwärme von 12° mit Drontheim und Island.

Die Isothere von 16° geht vom Ausfluss der Garonne ungefähr über Aschburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der russischen Kosaken, und geht etwas nördlich vom Kaspischen Meere vor. Wie ungleich aber ist die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 4° , in Böhmen 0° , in der Ukraine -4° und etwas nördlich vom Kaspischen Meere gar -8° .

Eine noch weit vollständigere Uebersicht über den Gang der Temperatur an irgend einem Orte erhält man, wenn aus möglichst vieljährigen Beobachtungen die allgemeine Mitteltemperatur für jeden einzelnen Monat bestimmt wird. Dove hat nun mit Benutzung alles ihm zuverfügung stehenden Beobachtungsmaterials eine Tabelle zusammengestellt, welche die allgemeinen Monatsmittel für 900 Orte erhält und hat nach dieser Tabelle Isothermenkarten für jeden einzelnen Monat des Jahres construiert. Die Tabelle auf Seite 456 bis 459 ist ein Auszug aus der Dove'schen, und in den Karten Tab. XVIII und Tab. XIX sind die Monatsisothermen für die Monate Januar und Juli eingetragen.

Von den im Jahre 1864 von Dove mit Berücksichtigung der neueren Beobachtungen in Polarprojection construirten Monatsisothermen sind auf Tab. XVIII und XIX die Isothermen des Januar und des Juli wiedergegeben.

Aus denselben Gründen, aus welchen die Mittagsstunde nicht die heisseste Stunde des Tages ist, sondern die höchste Temperatur im Laufe des Tages erst einige Stunden nach der Culmination der Sonne stattfindet, erreicht auch die Sommerwärme im Durchschnitt erst nach dem Sommer solstitium ihr Maximum, und so ist denn, wo nicht locale Ursachen eine Störung veranlassen, in der ganzen nördlichen gemässigten Zone der Juli der heisseste Monat, wovon man sich in der folgenden Tabelle überzeugen kann; ebenso folgt die grösste Winterkälte erst nach dem Winter solstitium, und im Durchschnitt ist auch auf der nördlichen Halbkugel der Januar der kälteste Monat.

Wenn nun aber, wie es doch natürlich erscheint, der heisseste Monat die Mitte des Sommers, der kälteste die Mitte des Winters bilden, so ist klar, dass die meteorologische Eintheilung der Jahreszeiten von der astronomischen, bei welcher die Jahreszeiten durch die Solstitien und Aequinoctien abgetheilt werden, abweichen muss. In der That sind die meteorologischen Jahreszeiten der nördlichen gemässigten Zone in folgender Weise zusammengesetzt. Den Winter bilden: December, Januar, Februar; den Frühling: März, April, Mai; den Sommer: Juni, Juli und August; den Herbst endlich September, October und November.

Tafel der mittleren Monatstemp

	Januar.	Februar.	März.	April.
Antigua	20.20	19.80	19.84	20.30
Bermudas	11.04	11.92	12.16	13.60
Havannah	17.50	18.68	18.70	19.30
Paramaribo	20.5	20.4	20.9	21.0
Domingo	23.6	23.1	23.6	24.0
Mexico	9.11	10.83	12.93	13.77
Quito	11.66	12.88	12.46	12.80
Falklands-Inseln	10.66	9.77	8.72	7.00
Rio Janeiro	21.4	21.3	20.4	19.3
Albany	— 3.58	— 3.08	1.28	7.01
St. Augustin	12.77	14.65	15.80	16.00
Council Bluffs	— 4.17	— 2.40	2.41	8.81
Halifax	— 5.3	— 6.2	— 3.1	0.9
Concord	— 4.80	— 4.51	— 0.57	4.8
Marietta	0.01	0.90	4.86	9.4
New-Orleans	11.00	11.73	13.37	17.9
New-York	— 3.4	— 0.2	3.9	9.3
Fort Ross	7.06	6.96	7.46	8.4
Quebec	— 7.13	— 6.80	— 4.15	2.4
Fort Vancouver	2.86	4.88	5.33	6.3
Roches Felix	— 27.0	— 28.4	— 27.0	— 13.1
Fort Franklin	— 24.1	— 21.7	— 16.6	— 8.7
Melville-Insel	— 27.12	— 28.64	— 22.31	— 17.2
Nars	— 12.80	— 12.86	— 10.48	— 0.3
Reykjavik	— 0.97	— 1.64	— 0.96	1.1
Sticks	1.02	— 0.71	2.67	3.1
Dublin	2.4	3.9	4.64	6.1
Edinburgh	2.0	2.8	3.79	5.1
London	1.2	2.7	4.44	7.1
Bombay	4.1	7.1	8.6	10.1
Madras	4.3	7.7	7.5	11.1
Panama	7.38	7.63	7.83	7.1
Amsterdam	7.38	7.14	7.86	7.1
Wien	7.9	7.7	7.79	8.1
Paris	7.2	7.3	4.16	7.1
St. Petersburg	— 7.78	— 6.4	— 4.51	— 2.1
Sibir	7.7	7.7	4.61	6.1
Wien	7.2	7.2	6.17	10.0
Wien	7.2	7.2	5.01	10.3
Wien	7.2	7.2	9.77	11.7
Wien	7.2	7.2	9.4	11.6

mer Orte in Réaumur'schen Graden.

	August.	Septbr.	October.	Novemb.	Decemb.	Differenz.
	22,17	22,00	21,71	22,15	20,93	2,37
	19,84	19,92	18,24	15,04	12,72	8,40
	22,03	21,50	20,82	19,17	18,46	4,53
	22,2	22,9	22,8	22,0	21,2	2,4
	20,0	20,7	20,7	20,3	20,7	4,0
	14,64	14,36	12,54	10,60	8,91	6,27
	13,06	12,04	12,42	12,28	12,68	1,40
	16,9	17,1	18,1	18,8	20,1	5,7
	2,95	6,11	6,89	6,70	7,94	8,26
	16,86	13,06	7,64	2,70	— 1,65	21,38
	22,52	21,40	18,59	14,02	12,85	9,81
	19,60	14,77	9,62	2,91	— 3,46	24,34
	16,9	8,4	8,4	2,7	— 3,1	23,1
	14,94	10,88	7,28	2,24	— 3,10	20,39
	17,32	14,01	8,79	4,52	1,22	18,11
	22,28	21,08	16,76	11,87	9,00	13,32
	17,7	14,4	9,3	4,5	1,0	21,7
	11,65	11,11	10,06	8,82	7,73	4,69
	15,50	13,50	4,80	0,50	— 8,05	26,45
	15,11	12,88	9,77	4,88	4,88	12,45
	3,0	— 2,9	—10,2	—16,6	—24,2	31,1
	8,2	4,0	— 4,2	—14,3	—19,1	33,6
	0,26	— 4,21	—15,48	—23,62	—23,83	33,28
	8,44	5,77	0,88	— 2,44	—11,33	22,24
	9,27	6,42	2,18	— 0,69	— 1,15	12,39
	11,46	10,65	6,50	4,84	1,92	10,45
	12,74	10,56	8,00	4,93	3,57	9,88
	11,22	9,53	7,46	4,19	3,44	9,47
	14,02	12,00	8,66	6,00	3,78	12,00
	18,3	15,6	11,6	7,3	5,0	14,3
	20,0	17,0	13,3	8,3	6,1	16,10
	14,82	12,52	9,0	5,41	2,92	13,43
	14,80	12,72	8,51	4,41	2,17	14,29
	14,41	12,13	8,78	5,22	2,28	12,95
	14,72	11,75	8,05	3,07	1,57	15,83
	5,38	3,02	— 0,41	— 3,63	— 5,66	12,38
	14,18	12,05	8,17	4,28	— 0,10	16,18
	18,48	15,32	11,09	6,70	2,03	18,46
	18,58	16,34	13,16	9,68	7,45	12,52
	19,71	18,06	15,56	12,18	10,10	11,12
	19,40	16,92	14,58	9,50	7,02	13,75

Tafel der mittleren Monatstemp

	Januar.	Februar.	März.	April.
Berlin	— 1,90	— 0,15	2,74	6,88
Breslau	— 1,8	— 1,3	1,3	6,1
Carlsruhe	— 0,14	1,97	4,57	8,36
Danzig	— 2,02	— 0,54	1,44	5,07
Dresden	— 1,25	0,58	3,52	7,82
Düsseldorf	1,4	3,1	5,4	8,9
Frankfurt a. M.	— 0,24	2,08	4,24	7,60
München	— 1,07	0,45	4,08	6,63
Prag	— 1,95	— 0,27	3,94	9,16
Tübingen	— 1,44	0,46	3,28	6,96
Wien	— 1,21	0,68	3,91	8,82
Bergen	1,34	2,06	2,48	5,48
Stockholm	— 3,42	— 2,37	— 1,07	2,12
Torneo	— 12,71	— 11,03	— 7,31	— 2,26
Archangel	— 11,3	— 10,2	— 4,49	— 0,27
Astrachan	— 8,60	— 4,92	1,70	9,08
Barnaul	— 16,7	— 12,3	— 10,1	0,6
Irkutsk	— 15,69	— 12,10	— 5,32	1,26
Jakutsk	— 34,43	— 27,05	— 17,08	— 6,96
Moskau	— 8,19	— 7,11	— 2,33	4,32
Petersburg	— 8,4	— 7,4	— 5,6	1,2
Sebastopol	1,0	2,0	4,6	8,1
Tiflis	— 0,05	0,84	4,62	9,11
Ustjansk	— 31,8	— 28,1	— 16,0	— 11,2
Algier	9,32	10,14	10,66	12,02
Gibraltar	11,56	11,39	13,87	15,11
Cairo	11,60	10,72	14,48	20,40
Bukarest	— 3,56	— 5,20	— 0,12	5,48
Funchal	14,00	13,84	14,32	14,40
St. Helena	14,21	15,06	15,22	14,94
Capstadt	18,83	19,54	18,11	15,60
Kouka	19,44	22,72	25,28	26,50
Batavia	20,44	21,88	21,10	20,28
Calcutta	16,57	19,16	22,28	25,28
Peking	— 2,98	— 2,40	4,27	11,14
Singapore	20,65	21,46	21,51	21,81
Fort Dundas	22,20	22,72	22,64	22,40
Hobarttown	13,84	13,84	10,40	9,52
Adelaide	23,31	21,00	20,75	14,86

er Orte in Réaumur'schen Graden.

August	Septbr.	October.	Novemb.	Decemb.	Differenz.
14,43	11,75	7,97	3,25	1,32	16,94
14,5	11,8	7,4	2,7	— 0,5	16,6
15,41	12,56	8,33	4,24	1,58	15,97
13,73	10,70	6,69	2,69	— 0,09	16,06
14,82	11,67	8,02	3,04	0,75	17,02
14,9	12,6	8,9	5,3	2,2	13,9
14,99	12,18	7,66	3,98	1,00	15,38
14,26	11,63	7,65	3,12	1,29	15,62
16,25	13,25	8,13	3,52	0,68	18,67
13,84	11,20	7,04	1,44	— 1,12	15,68
16,87	13,29	8,54	3,71	0,46	18,43
11,94	9,94	7,13	3,95	2,55	11,28
12,80	9,62	5,42	1,50	— 2,15	17,40
10,88	6,34	0,17	— 0,38	— 10,38	25,77
11,37	6,94	1,43	— 4,17	— 8,66	24,11
20,29	16,14	8,06	3,05	— 3,58	28,89
12,6	6,9	0,7	— 8,2	— 14,1	32,5
12,07	6,89	0,85	— 6,71	— 13,68	30,29
11,60	5,38	— 6,85	— 24,18	— 29,68	47,93
13,83	9,42	3,33	— 2,16	— 7,10	23,48
12,8	7,8	2,6	— 3,7	— 5,8	22,5
17,1	13,9	9,7	5,4	2,2	16,4
19,99	15,13	11,04	5,52	2,11	20,62
5,6	— 6,1	22,5	— 25,4	— 30,7	43,6
19,77	18,30	16,22	13,30	10,29	10,45
20,84	18,59	15,72	13,37	11,63	9,70
23,92	20,96	17,92	13,76	13,04	13,20
14,74	11,69	7,71	4,82	0,48	19,63
18,48	18,64	17,36	15,84	14,16	4,80
11,19	11,14	11,66	12,38	13,23	4,08
12,70	13,29	14,64	16,95	17,94	8,17
21,52	22,80	23,68	21,20	17,72	9,08
20,88	20,88	20,00	19,11	20,88	2,22
23,82	24,02	23,29	20,77	17,94	9,38
21,74	16,51	10,47	3,11	— 1,71	25,03
21,82	21,79	21,81	21,47	20,85	1,65
19,60	20,80	22,24	22,96	23,44	5,60
6,00	6,72	9,84	11,36	13,76	10,24
11,62	12,58	16,06	18,00	22,22	13,42

163 Die jährlichen Variationen der Lufttemperatur. Die Tabelle auf S. 456 bis S. 459 liefert uns auch das Material, um die jährlichen Variationen der Lufttemperatur für die in derselben verzeichneten Orte zu verfolgen. Zunächst finden wir in derselben eine Bestätigung für die bereits in §. 159 ausgesprochene Behauptung, dass im Allgemeinen die Gränzen, zwischen welchen die Temperatur eines Ortes im Laufe eines Jahres schwankt, um so weiter auseinander liegen, je weiter derselbe vom Aequator entfernt ist. Es geht dies besonders aus der Betrachtung der letzten, mit „Differenz“ überschriebenen Columnne der Tabelle hervor.

Um für irgend einen Ort den normalen Gang der mittleren Temperatur anschaulich zu machen, kann man denselben graphisch darstellen, indem man auf zwölf gleichweit von einander abstehenden, den einzelnen Monaten entsprechenden Verticallinien die entsprechenden mittleren Monatstemperaturen als Ordinaten aufträgt und die so markirten Punkte durch eine Curve verbindet, wie dies auf Tab. 13 für fünf verschiedene Orte geschehen ist.

Man übersieht in Tab. 13 sehr deutlich, wie in Havannah die mittlere Temperatur der einzelnen Monate nur unbedeutenden Variationen unterliegt, während in Jakutzk die mittlere Monatstemperatur nur von $-34,5$ bis $+13,6$ steigt, so dass also die Temperaturcurve für Jakutzk eine sehr steile wird.

So ist auch die jährliche Temperaturcurve für Moskau steiler als die für Berlin; die mittlere Januartemperatur ist für Moskau bedeutend tiefer, die mittlere Julitemperatur dagegen etwas höher als für Berlin.

Die zwölf Ordinaten, über welche die Curven der Tab. 13 gezogen sind, beziehen sich übrigens auf zu weit von einander abstehende Zeitintervalle, als dass sie das Gesetz der jährlichen Temperaturperiode in seinen Einzelheiten genau darstellen könnten; zu diesem Zweck müsste man statt der Monatsmittel die mittlere Temperatur kleiner Zeitabschnitte ermitteln und zwar erweisen sich fünftägige Mittel durch welche das Jahr in 75 gleiche Theile getheilt wird, besonders empfehlenswerth. Dove hat alle auf fünftägige Mittel berechneten Beobachtungen zusammengestellt und für einige Orte, welche besonders charakteristische Eigenthümlichkeiten und Gegensätze darbieten, graphisch dargestellt (Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde, Berlin 1860). Am vollständigsten erhält man aber jedenfalls die jährliche Temperaturcurve, wenn man zu ihrer Construction die 365 Tagesmittel verwendet.

Hat man aus einer längeren Reihe von Jahren die mittlere Temperatur für einen jeden Tag des Jahres ermittelt, so erhält man die mittlere Temperaturcurve des Jahres, wenn man die 365 Tagesmittel an gleichen Horizontalabständen als Ordinaten aufträgt und den Gipfelpunkt einer jeden mit dem Gipfelpunkt der folgenden verbindet. So hat z. B. Greiss (Jahresbericht d. physik. Vereins zu Frankfurt a. M. für d. Rechnungsjahr 1859 bis 1860) für die mittlere Temperatur der einzelnen

age des Jahres als Mittel aus 20jährigen Beobachtungen (1837 bis 1856
el.) folgende Werthe gefunden.

(Siehe die Tabelle auf S. 462 und 463.)

Wenn man nach den Zahlen dieser Tabelle die Temperatur eines
Tages als Ordinate aufträgt und den Gipfelpunkt jeder Ordinate
dem Gipfelpunkt der folgenden durch eine gerade Linie verbindet,
es in Fig. 4 auf Tab. 12 für die Tage vom 1. Januar bis zum
Februar und in Fig. 3 Tab. 12 für den Mai geschehen ist, so er-
man nicht etwa eine regelmässig verlaufende Curve, sondern eine
Zickzack unregelmässig auf- und absteigende, von der man unmög-
annehmen kann, dass sie das wahre Gesetz der jährlichen Periode
Lufttemperatur ausdrückt. In 20jährigen Mitteln erscheinen also
Störungen des normalen Ganges der Lufttemperatur noch nicht aus-
sich. Diese Unregelmässigkeiten verschwinden aber selbst in der
ve noch nicht, welche sich in der angegebenen Weise für Berlin
110jährigen Beobachtungen ergibt.

Um solche Unregelmässigkeiten zu entfernen, haben Bouvard,
essel u. a. Interpolationsformeln construirt, deren Constanten aus einer
möglichst grossen Reihe von Beobachtungsdaten abgeleitet werden müs-
a. Die Anwendung solcher Formeln ist aber eine so umständliche,
wir hier nicht weiter darauf eingehen können.

Meermann hat die mittlere jährliche Temperaturcurve für Frank-
t a. M. dadurch zu bestimmen gesucht, dass er zunächst aus einer
ährigen Beobachtungsreihe (1758 bis 1767) die mittlere Temperatur
in jeden Tages im Jahre in der Weise zu bestimmen suchte, wie es
der Tabelle auf S. 462 aus einer 20jährigen Reihe geschehen ist; als
wahre Tagesmittel nahm er alsdann für jeden Tag das Mittel aus
15 vorangehenden und 15 nachfolgenden Tageszahlen. Nach den
erhaltenen Zahlen ist alsdann Meermann's Linie der mittleren
Curve construirt, welche man auf der graphischen Darstellung
täglichen mittleren Barometer- und Thermometerstandes
Frankfurt a. M. bis zum Jahre 1860 aufgetragen findet. Greiss
harte das Meermann'sche Verfahren dahin ab, dass er die Mittelzah-
aus 20jährigen Beobachtungen zu Grunde legte und dann den be-
stimmten Tag mit den 15 vorangehenden und den 15 nachfolgenden zu
der Summe vereinigte, die dann durch 31 dividirt die gesuchte nor-
male Temperatur des fraglichen Tages liefert. Auf diese Weise ist dann
die Tabelle auf S. 464 berechnet. So ist z. B. die für den 16. Januar
erhaltene Zahl — 0,3 das arithmetische Mittel aus den 31 Zahlen der
ersten Verticalreihe der umstehenden Tabelle.

Datum.	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
1	— 0,0	0,9	1,5	6,0	9,8
2	— 0,1	0,9	1,5	6,1	10,2
3	— 0,4	0,5	2,1	6,5	10,5
4	— 0,4	0,5	2,2	6,4	10,5
5	— 0,5	0,0	2,0	6,7	10,1
6	— 0,1	0,7	2,4	6,8	10,3
7	— 0,5	0,7	2,2	6,8	10,7
8	— 0,3	0,8	2,3	6,5	10,7
9	— 0,5	1,2	2,4	6,2	10,6
10	— 0,7	0,4	2,7	5,7	10,4
11	— 0,8	0,2	2,4	6,3	10,4
12	— 1,1	0,0	2,5	6,7	10,6
13	— 0,9	0,1	2,9	6,9	11,2
14	— 0,8	0,4	3,1	7,1	10,3
15	— 1,0	0,5	3,3	7,1	10,2
16	— 1,1	1,2	3,5	7,0	10,7
17	— 0,8	1,4	4,1	7,2	11,2
18	— 0,3	1,4	3,9	7,8	11,2
19	— 0,6	0,5	3,3	8,0	11,2
20	— 0,8	0,2	3,4	8,6	10,7
21	— 1,0	0,4	3,3	8,4	10,9
22	— 0,7	1,1	3,6	8,7	12,3
23	— 0,4	1,3	4,2	8,5	12,9
24	0,1	2,0	4,1	8,9	13,3
25	0,4	2,2	3,8	9,0	12,8
26	0,7	2,3	3,7	9,3	12,9
27	0,8	2,1	4,0	9,0	12,9
28	0,3	1,8	4,3	8,7	13,2
29	0,7	—	4,9	8,8	13,5
30	0,1	—	5,1	9,4	13,4
31	0,5	—	5,2	—	12,9

	August.	September.	October.	November.	December.
	15,4	14,0	10,2	5,9	2,3
	15,3	13,6	10,6	5,8	2,1
	15,6	13,2	10,5	5,3	1,5
	15,6	13,1	10,5	4,9	1,4
	15,2	12,9	10,8	5,0	1,6
	15,4	12,6	10,3	4,6	2,0
	14,9	12,7	10,2	4,6	1,9
	14,8	12,7	9,5	4,6	0,9
	15,3	12,7	9,0	4,8	1,1
	15,5	13,1	8,9	4,3	1,6
	15,7	13,1	9,0	4,1	0,5
	15,5	12,8	8,8	3,7	— 0,9
	15,5	11,8	7,4	3,7	— 0,2
	15,7	11,8	7,2	4,1	— 0,3
	15,2	12,1	7,6	3,9	0,7
	15,4	12,2	7,3	3,9	1,0
	15,3	12,2	7,8	3,9	0,9
	15,1	12,3	7,8	3,4	0,5
	15,3	11,9	8,1	3,0	0,1
	15,3	11,4	7,8	3,2	— 0,3
	15,3	11,6	6,6	3,2	— 0,2
	15,0	11,0	6,4	3,3	— 0,1
	15,1	11,3	6,4	3,2	0,0
	14,6	10,6	6,8	3,3	0,3
	14,2	10,3	6,9	2,9	1,0
	14,0	10,1	6,6	2,7	0,4
	14,2	10,0	6,4	1,8	0,0
	14,5	10,2	6,6	2,0	0,5
	14,3	10,5	6,4	2,1	— 0,8
	14,5	9,8	6,2	2,3	— 0,4
	13,9	—	5,5	—	0,2

Normale Mitteltemperatur der a

Datum.	Januar.	Februar.	März.	April.	Mal.
1	— 0,2	0,3	1,9	5,3	9,5
2	— 0,2	0,3	2,0	5,4	9,6
3	— 0,3	0,4	2,1	5,6	9,8
4	— 0,3	0,4	2,2	5,7	9,9
5	— 0,3	0,4	2,2	5,9	10,0
6	— 0,3	0,5	2,3	6,1	10,0
7	— 0,3	0,6	2,4	6,2	10,2
8	— 0,4	0,6	2,6	6,4	10,3
9	— 0,4	0,7	2,7	6,5	10,4
10	— 0,4	0,7	2,7	6,7	10,6
11	— 0,4	0,8	2,8	6,9	10,7
12	— 0,4	0,8	2,9	7,0	10,8
13	— 0,4	0,9	2,9	7,2	10,9
14	— 0,3	0,9	3,0	7,3	11,1
15	— 0,3	0,9	3,1	7,4	11,3
16	— 0,3	1,0	3,2	7,6	11,4
17	— 0,3	1,0	3,4	7,7	11,5
18	— 0,2	1,0	3,5	7,9	11,6
19	— 0,2	1,1	3,7	8,0	11,7
20	— 0,2	1,2	3,8	8,1	11,8
21	— 0,2	1,3	3,9	8,2	11,9
22	— 0,2	1,3	4,1	8,3	12,0
23	— 0,1	1,4	4,2	8,5	12,1
24	— 0,1	1,4	4,4	8,6	12,3
25	— 0,1	1,5	4,5	8,7	12,4
26	0,0	1,5	4,6	8,9	12,5
27	0,0	1,6	4,7	9,0	12,6
28	0,0	1,7	4,9	9,2	12,7
29	0,1	—	5,0	9,3	12,9
30	0,1	—	5,1	9,4	13,0
31	0,2	—	5,2	—	13,2

Jahres für Frankfurt a. M.

August.	September.	October	November.	December.
15,2	13,7	10,1	5,7	2,0
15,2	13,7	10,0	5,6	1,9
15,2	13,5	9,8	5,4	1,8
15,2	13,4	9,7	5,3	1,7
15,2	13,3	9,6	5,1	1,6
15,2	13,2	9,4	5,0	1,5
15,2	13,0	9,2	4,9	1,4
15,2	12,9	9,1	4,8	1,3
15,2	12,8	8,9	4,7	1,2
15,2	12,7	8,8	4,6	1,1
15,1	12,5	8,7	4,4	1,0
15,1	12,4	8,6	4,3	0,9
15,1	12,3	8,5	4,1	0,9
15,1	12,1	8,3	4,0	0,8
15,1	12,0	8,2	3,9	0,7
15,0	11,9	8,1	3,8	0,7
15,0	11,8	8,0	3,6	0,6
14,9	11,7	7,8	3,5	0,5
14,8	11,6	7,6	3,4	0,4
14,7	11,5	7,5	3,3	0,4
14,6	11,4	7,3	3,2	0,3
14,6	11,3	7,1	3,1	0,3
14,5	11,2	6,9	3,0	0,2
14,4	11,1	6,7	2,9	0,1
14,3	11,0	6,6	2,8	0,1
14,3	10,9	6,5	2,6	0,0
14,2	10,7	6,1	2,5	0,0
14,0	10,5	6,0	2,3	0,0
13,9	10,4	5,9	2,2	— 0,1
13,8	10,3	5,9	2,1	— 0,1
13,8		5,8		— 0,1

Nach den Zahlen dieser Tabelle ist dann die Linie der mittleren Wärme auf der graphischen Darstellung der meteorologischen Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. vom Jahr 1853 an aufgetragen. Die stark ausgezogene Curve in Fig. 3 und Fig. 4 Tab. 12 sind Stücke dieser Linie.

Hat man einmal den normalen Gang der Wärme für irgend einen Ort ermittelt, so lässt sich nun auch leicht übersehen, wie weit in einzelnen Jahren die Lufttemperatur von dem normalen Gange abweicht. In Fig. 1 Tab. 14 ist der normale Gang der Wärme für Frankfurt vom 1. bis 25. Januar mit dem in den Jahren 1853 und 1861 beobachteten graphisch zusammengestellt.

Wir werden später noch einmal auf diesen Gegenstand zurück kommen.

169 Thermische Isanomalien. Ein Blick auf die Karte der Isothermen belehrt uns, wie ungleich die mittlere Jahreswärme an verschiedenen Orten desselben Breitengrades ist. Auf dem 60. Breitengrade z. B. ist die mittlere Jahrestemperatur auf dem Meere zwischen Europa und Amerika gleich 0°, an der Westküste der Hudsonsbay ist sie ungefähr — 6°, in der Nähe der Südspitze von Grönland wieder 0°; auf dem Meere nördlich von Schottland + 3,4, auf dem Ural 0° und im Innern von Asien wieder — 7° R.

Ermittelt man mit Hülfe der Isothermenkarte durch Interpolation die mittlere Wärme für die auf demselben Breitengrade liegenden Punkte, deren Länge 10°, 20° u. s. w. bis 360° ist, so erhält man die mittlere Wärme für 36 gleichweit von einander abstehende Punkte desselben Parallelkreises. Nimmt man aus den 36 so erhaltenen Werthen das Mittel, so erhält man eine Zahl, welche Dove die normale Temperatur des Parallelkreises nennt. Nach Dove's Bestimmungen sind Folgende die Werthe der normalen mittleren Jahrestemperatur für die verschiedenen Parallelkreise:

90° nördl. Breite . . .	— 13,2° R.	20° nördl. Breite . . .	+ 2,1
80 " " " . .	— 11,2	10 " " " . .	1,2
70 " " " . .	— 7,1	0 " " " . .	0,0
65 " " " . .	— 4,2	— 10° südl. Breite . . .	— 1,2
60 " " " . .	— 0,8	20 " " " . .	— 1,1
50 " " " . .	+ 4,3	30 " " " . .	— 1,1
40 " " " . .	10,9	40 " " " . .	— 1,1
30 " " " . .	16,8		

Mit Hülfe dieser Tabelle kann man nun leicht sehen, ob und wie weit die mittlere Jahreswärme eines Ortes höher oder tiefer ist als die normale mittlere Jahrestemperatur des Parallelkreises. So ist z. B. die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg, welches ungefähr unter dem 60

Grade liegt, $3,4^{\circ}$, also um $4,2^{\circ}$ höher als die Normaltemperatur des Parallels oder, um es kurz auszudrücken, die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg ist um $4,2^{\circ}$ zu hoch. In gleichem Sinne ist dagegen die mittlere Jahrestemperatur von Nertschinsk, $-3,2^{\circ}$, ungefähr um $6,8^{\circ}$ zu niedrig, da die normale mittlere Jahreswärme für den Parallel von $51^{\circ} 25'$, unter welchem Nertschinsk liegt, wie sich durch Interpolation aus obiger Tabelle ermitteln lässt, $+3,6^{\circ}$ beträgt.

Diese Differenz zwischen der mittleren Temperatur eines Ortes und der Normaltemperatur seines Parallels nennt Dove die thermische Anomalie. Mit dem Namen der thermischen Isanomalien bezeichnet er dagegen solche auf einer Karte gezogenen Curven, welche eine Reihe von Orten mit einander verbinden, denen eine gleiche thermische Anomalie zukommt. In der Karte Tab. XX sind die thermischen Isanomalien des Jahres eingetragen. Um die Uebersicht zu erleichtern, sind diese Gegenden, in welchen die mittlere Jahreswärme zu hoch ist, weiss markirt, diejenigen, in welchen sie zu niedrig ist, dagegen blau angelegt.

So übersieht man denn hier mit einem Blick, dass die mittlere Jahreswärme von ganz Europa, Kleinasien, Arabien, Persien, Ostindien und dem grössten Theile von Afrika und Australien höher ist als die Normaltemperatur des Jahres für die entsprechenden Parallelkreise; dagegen ist in gleicher Weise der ganze asiatische Continent bis auf die eben genannten südwestlichen Theile, und der Continent von Nordamerika auf die nordwestlichen Küsten und Florida eine zu geringe mittlere Jahreswärme.

Auf dieser Karte sehen wir aber auch, wie gross die thermische Anomalie eines jeden Ortes ist; wir sehen zum Beispiel, dass in der Mitte von Spanien, Sicilien und Moskau die mittlere Jahreswärme um 2° , in Island, dem nördlichen Schottland, in der Umgegend von Drontheim um 3° zu hoch ist. Dagegen läuft eine thermische Isanomale von -2° südlich von Fort Snelling vorbei, in der Nähe von Washington und Boston vorüber nach Neu-Fundland u. s. w.; zu Washington und Boston also die mittlere Jahrestemperatur um 2° zu niedrig.

In derselben Weise, wie die Curven der Karte Tab. XX aus den Jahresisothermen abgeleitet worden sind, hat Dove auch die Monatsisothermen benutzt, um die thermischen Isanomalien für jeden einzelnen Monat zu construiren. Tab. XXI und Tab. XXII enthalten die thermischen Isanomalien der Monate Januar und Juli.

Aus dem Laufe der thermischen Isanomalien des Januar ersieht man, dass die mittlere Temperatur dieses Monats an den nordwestlichen Küsten von Nordamerika und namentlich an den westlichen Küsten von Europa viel zu hoch ist; dass dagegen dieser Monat im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika, sowie auf dem asiatischen Continent, und namentlich in Sibirien, viel zu kalt ist. In London ist die mittlere Temperatur des Januar um 8° , in Drontheim ist sie um 12° zu hoch; dagegen ist sie am Michigan- und Huronsee in Nordamerika 6° ,

zu Jakutzk in Sibirien 17° niedriger als die Normaltemperatur der entsprechenden Parallelkreise für den genannten Monat.

Anders gestalten sich die Verhältnisse im Juli; in diesem Monate zeigt sich in Sibirien ein grösserer, in Europa nur ein unbedeutender Ueberschuss über die Normaltemperatur der entsprechenden Parallelkreise, während an den Ostküsten von Nordamerika auch dieser Monat zu kalt bleibt.

170 Land- und Seeklima. Die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche veranlasst eine ungleiche Erwärmung an verschiedenen Stellen, sie bedingt grossentheils die Richtung der Luft- und Meereströmungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin, oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande sind, hängt von der Configuration des Landes, von der Beschaffenheit des Bodens ab, sie wird durch die Richtung der herrschenden Winde durch Gebirgszüge modificirt; die klimatischen Verhältnisse einer Gegend sind also das Resultat mannigfacher Ursachen, welche sich theils combiniren, theils gegenseitig modificiren, und welche bald mehr allgemein, bald mehr localer Natur sind, welche bald direct, bald indirect wirken. „Die physische Geographie.“ sagt Humboldt, „hat ihre numerischen Elemente wie das Weltsystem, und wir werden in der Kenntniss dieser Elemente in dem Maasse fortschreiten, als wir die Thatsachen besser benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Gesetze mitten in dem Zusammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.“

Ganz abgesehen davon, dass die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meereströmungen modificirt, bewirkt sie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbiert und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkalte als das Meer, welches überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit und wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme auch nicht so schnell abgibt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger, sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind hier ungleich geringer als in der Mitte der grossen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch grösser wird, dass an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen im Sommer mässigt, als auch die starke Erhitzung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

Inseln, welche mitten in einem grossen Meere liegen, Küsten und namentlich Halbinseln werden das weniger veränderliche Seeklima theils

Während die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperatur grösser sind, je weiter man sich von den Küsten entfernt. Schon in den vorhergehenden Paragraphen wurden Beispiele angeführt, welche zeigen, wie verschieden die mittlere Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die Jahreszeiten oft sehr ungleich ist; wie an Orten, welche Küstenklima haben, die Temperaturschwankungen weit geringer sind als an solchen Orten, welche mitten im Lande liegen.

Es ist bereits angeführt worden, dass Edinburg bei gleicher mittlerer Jahreswärme doch mildere Winter und kühlere Sommer hat als London. Die Differenz der mittleren Temperatur des heissesten und des kaltesten Monats beträgt für Edinburg nur 9,5°, für Tübingen aber 17,5°.

Die Tabellen auf Seite 456 bis 459 liefern Material genug, um den Unterschied zwischen Land- und Seeklima nachzuweisen; die folgende Tabelle enthält die Zusammenstellung einiger besonders charakteristischer, obiger Tabelle entnommener Beispiele:

	Mittlere Temperatur des			Differenz.
	Jahres.	Januar.	Juli.	
London	5,97	1,02	11,16	10,04
Reykjavik	3,30	— 0,97	10,75	11,72
Paris	6,57	1,34	12,62	11,28
Wien	7,57	2,88	12,76	9,88
St. Petersburg	5,56	— 4,80	15,59	20,39
Moskau	3,57	— 8,19	15,29	23,48
Wien	8,02	— 8,60	19,98	28,58
Wien	0,27	— 15,69	14,60	30,29
Wien	— 8,25	— 31,43	16,35	50,78

Ein sehr anschauliches Bild des Unterschiedes zwischen Continental- und Küstenklima erhält man, wenn man nach der für Tab. 13 erläuterten Weise die jährlichen Variationen der Lufttemperatur für zwei Orte vergleicht, welche nahezu gleiche mittlere Jahrestemperatur haben, von denen aber der eine dem Continental- und der andere dem Küstenklima entspricht, und die beiden Curven in einer Figur zusammenstellt, wie in Fig. 2 Tab. 14 für Sitcha und Concord (in der Nähe von Boston) und in Fig. 3 Tab. 14 für Reykjavik und Moskau geschehen ist.

Es ist sehr bemerkenswert, dass das Seeklima, welchem die vier erstgenannten Orte der obigen Ta-

belle angehören, ist besonders durch kühle Sommer und gelinde Winter charakterisirt, so dass die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und des kältesten Monats nicht sehr gross ist. Am entschiedensten tritt dieser Charakter des Seeklimas an den nordwestlichen Küsten von Amerika auf, wie man aus den Karten Tab. XXI und am leichtesten übersehen kann. Der Juli ist hier zu kühl, der Januar viel zu warm.

Das Continentalklima, welchem die fünf zuletzt genannter angehören, ist dagegen durch heisse Sommer und kalte Winter zeichnet, daher der Unterschied zwischen der Temperatur des Januars und des Juli hier sehr gross ist, wie dies namentlich die Temperaturverhältnisse von Sibirien zeigen. Auch dies zeigen die Karten Tab. XXI und XXII auf den ersten Blick, indem Sibirien auf der Januarkarte und auf der Julikarte weiss, also in beiden Fällen gerade entgegengesetzt gelegt ist, wie die Nordwestküste von Nordamerika.

Aus den Karten Tab. XXI und XXII ersehen wir weiter, dass Europa fast normalen Sommer hat; die mittlere Temperatur des Juli ist wenig zu hoch, und dieser Ueberschuss wächst von Westen nach Osten hin, dagegen fallen die Westküsten Europas im Winter entschieden Seeklima anheim, indem hier die mittlere Januar-temperatur weit unter ist als die Normaltemperatur dieses Monats für die entsprechenden Breitengrade.

Europa ist also unter allen Ländern gleicher geographischer Breite hinsichtlich seiner Wärmeverhältnisse in jeder Beziehung am meisten begünstigt, da es warme Sommer und gelinde Winter hat. Dem Gegensatz zu diesem Verhältniss bildet Nordamerika, welches, den schon bereits erwähnten Küstenstrich abgerechnet, im Sommer dem Seeklima und im Winter dem Continentalklima anheimfällt, also bei kalten Wintern verhältnissmässig kühle Sommer hat.

Welchen Einfluss solche klimatischen Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens Jakutzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur $-8,25^{\circ}$ ist, die mittlere Januar-temperatur aber $-34,43^{\circ}$ beträgt, wird während des kalten Winters, aber heissen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden angebauet, welcher in einer Tiefe von 3 Fuss beständig gefroren bleibt; dies ist auf der Insel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht zu denken, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, die Getreide Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Island, wo im Winter kaum Eis friert, in der Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe so kräftig wie in Palermo; auf den Küsten von Devonshire überwintert die *Camellia japonica*, die *Fuchsia coccinea* im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht so kalt als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in Island, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte ver-

er eines heissen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und ankabaren Wein liefern sollen. In Astrachan, welches mit dem gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichsten Trauben. Ungt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich seine Winter kälter im nördlichsten Schottland, wo kein Obstbaum mehr gedeiht, ja lter als auf den Faröerinseln, wo auch die Buche und die Eiche hr fortkommt.

erall, wo die mittlere Jahreswärme unter 17° ist, findet das n der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate Statt, dessen Temperatur 6 bis 8° beträgt. Der Pfirsichbaum blüht, wenn ere Temperatur eines Monats $5,5^{\circ}$, der Pflaumenbaum, wenn sie icht. Die Birke schlägt bei einer mittleren Monatstemperatur aus; in Rom findet dies im März, in Paris Anfangs Mai, in a der Mitte Juni Statt, auf dem Nordcap kommt die Birke nicht t, weil die mittlere Temperatur des heissesten Monats nur $8,1^{\circ}$

Ursachen der Krümmung der Isothermen. Bereits im 171

des vorigen Paragraphen ist erwähnt worden, dass die Luft- resströmungen einen wesentlichen Einfluss auf die klimatischen isse der Länder ausüben, und sie sind es auch vorzugsweise, ie Krümmung der Isothermen bedingen.

der nördlichen gemässigten Zone sind die Südwest- und die inde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den ialgelegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil i kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluss der Südwest- ird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, er südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und clärt sich, dass die Westküsten der grossen Continente wärmer die Ostküsten, dass die Isothermen in Europa, welches eigent- eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden stei- m Inneren von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

er trägt eine unter dem Namen des Golfstroms bekannte ömung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der ; dieses Stromes ist im mexikanischen Meerbusen zu suchen, wo wasser bis zu einer Temperatur von 24 bis 25° erwärmt wird.

Cuba und Florida aus dem mexikanischen Meerbusen heraus- folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich . stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur öst- Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht e Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein war- ser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Süd- e, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von

Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heissen Zone An wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. u Breitengrade selbst im Januar nicht unter 7° sinkt. Unter dem flusse dieses Golfstromes ist das nördliche Europa durch ein e Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kl Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht die europäisch sten. Sabine fand zwischen dem 65. und 70. Breitengrade die Temperatur des atlantischen Oceans an der Oberfläche $4,5^{\circ}$, währ gleicher Breite die mittlere Temperatur des europäischen Coi schon unter dem Gefrierpunkte ist.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Tem in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere U zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden massen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heisse Zo ein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrika Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich wen sorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfu Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebund Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördliche zuführen könnten, werden aber noch durch die ungeheuren Get ten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden mäßig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinde gegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden e ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hi wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur d päischen Meere erhöht wird, fast immer mit Eis bedeckt ist. reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze de eises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur a Zeit an einigen Stellen von den Küsten; dass aber dieser Umst Temperatur bedeutend erniedrigen muss, ist klar, wenn man wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunder

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Inneren von amerika rührt vorzugsweise daher, dass dieser Continent in d seiner Westküste seiner ganzen Länge nach von einem mächtig Nord nach Süd streichenden Gebirgswall, dem Felsengebirge Cordilleren von Neumexico durchzogen wird, an welchem die v sen Ocean her wehenden Südwestwinde Wärme und Feuchtigkeit ren, während umgekehrt der ganze Landstrich zwischen dem gebirge und dem Alleghanigebirge den kalten Nordwinden setzt ist.

Zu der bedeutenden Senkung an den Ostküsten von Nord welche gleichfalls nicht von warmen Seewinden getroffen werde

noch der Umstand bei, dass sie nicht wie die europäischen Küsten ärmeren Gewässern bespült sind, sondern dass hier kalte Meeresströmungen von Norden nach Süden ziehen. Eine solche Strömung, von Norden herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbay kommenden Strömungen, um an der Küste von Labrador herab, bei Neu-England vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Atlantik zu ergiessen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der arktischen Regionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers selbst, theils durch schwimmende Eisberge in die südlicheren Gegenden.

Auf der südlichen Hemisphäre sind die Isothermen weit weniger weit entfernt als auf der nördlichen, was wohl vorzugsweise darin seinen Grund hat, dass der grösste Theil derselben mit Wasser bedeckt ist.

Auf den Westküsten von Südamerika macht sich eine bedeutende Abweichung der Isothermen gegen den Aequator hin bemerklich, wie man es sowohl bei den Jahresisothermen als auch bei den Isothermen für Januar und des Juli sehen kann. Es rührt dies daher, dass gerade auf den Westküsten eine vom Südpol gegen den Aequator gerichtete Meeresströmung die kälteren Gewässer des südlichen Eismeeres den niederen Breiten zuführt.

Eine ähnliche Strömung im südlichen Theile des atlantischen Oceans ist es, dass auch zwischen Brasilien und Afrika die Isothermen ihren höchsten Gipfel dem Aequator zukehren.

Allgemein ist die südliche Hemisphäre kühler als die nördliche, wie sich schon daraus ergibt, dass der grösste Theil des Gürtels, zwischen dem 30. und 60. Grad, dessen die mittlere Jahrestemperatur über 20° R. ist, zum grössten Theil auf die nördliche Hemisphäre fällt (Tab. XVI). Auch die

von S. 447 bis 452 bestätigt die eben ausgesprochene Behauptung. Die geringere Wärme der südlichen Halbkugel mag ihren Grund vorzugsweise darin haben, dass das Meer einen grossen Theil der Oberfläche treffenden Wärmestrahlen reflectirt, dass also überhaupt die Quantität der auf der südlichen Erdhälfte absorbirten Wärmestrahlen nicht so gross ist wie auf der nördlichen, weit mehr Land enthaltene nördliche Hemisphäre.

Abweichungen vom normalen Gange der Wärme. Die 172

monatlichen Schwankungen der Lufttemperatur treten nie rein auf, sie sind stets mehr oder weniger durch unregelmässige Veränderungen bedingt. Wir brauchen nur die thermometrischen Beobachtungsreihen eines Ortes mit Aufmerksamkeit zu verfolgen, um zu finden, wie verschieden der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen ist, wie verschieden die aus den Beobachtungen gezogene mittlere Temperatur eines Monats in einzelnen Jahren von dem entsprechenden Mittel anderer Jahre sowohl wie von dem allgemeinen Monatsmittel abweicht.

Man hat die nicht periodischen Aenderungen der Temperaturver-

theilung auf der Oberfläche der Erde einer genaueren Untersuchung terworfen und die Resultate seiner Forschungen in einer Reihe von sätzen niedergelegt, welche in den Jahrgängen von 1838 bis 1846 Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht wurden. Man f daselbst nicht allein die Resultate seiner mühevollen Studien, son auch eine Zusammenstellung des gesammten Beobachtungsmaterials, ches er zusammenbringen konnte, und welches die Basis seiner U suchungen bildet.

Ist einmal das allgemeine Mittel der Temperatur für u einen Monat an einem bestimmten Orte aus einer möglichst g Reihe von Beobachtungsjahren bekannt, so kann man leicht erm um wie viel die mittlere Temperatur desselben Monats für ein bes tes Jahr über oder unter dem entsprechenden allgemeinen Monats war. Wenn wir z. B. wissen, dass das allgemeine Monatsmittel fü December in Berlin $0,35^{\circ}\text{R.}$ ist, dass aber die mittlere Temperatur ses Monats im Jahre 1829 daselbst nur $-6,93^{\circ}\text{R.}$ betrug, so ist dass der December 1829 zu Berlin um $7,28^{\circ}\text{R.}$ zu kalt war.

Solche Vergleichen hat nun Dove in grosser Anzahl zusan gestellt. Die Tabellen auf Seite 476 u. 477 geben einen Auszug solchen Zusammenstellung für die Jahre 1829, 1834, 1857 u. 1859. Zahlen ohne Vorzeichen geben an, wieviel die mittlere Monatsten tur in den genannten Jahren über, die negativen, wieviel sie dem allgemeinen Monatsmittel des Ortes war.

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass der December 1829 in E sehr kalt war. In Paris war die mittlere Temperatur dieses M um $5,67$, in Berlin war sie sogar $7,28^{\circ}\text{R.}$ unter dem allgemeinen tel des Monats December. Diese Abweichung finden wir nun ab neswegs in gleicher Weise an den übrigen in der Tabelle zusam stellten Orten. In Petersburg und Kasan war der December freilich auch noch zu kalt, aber nicht so viel wie in Paris und Be in Irkutzk dagegen finden wir schon einen merklichen Ueberschu mittleren Monatstemperatur; ebenso auf der Insel Island, wä dieser Ueberschuss in Nordamerika noch bedeutender ist und zu rietta $3,74^{\circ}\text{R.}$ erreicht.

Aehnliche Verhältnisse, wenn auch nicht ganz so ausgezeichnet den wir im Januar 1829.

Zu Paris herrschte während des ganzen Jahres 1829 eine n drige Temperatur; zu Berlin haben wir nur in den Monaten Jun September einen ganz unbedeutenden Ueberschuss an Wärme, wä an allen anderen auf der Tabelle verzeichneten Orten dieser Ueber in mehreren Monaten bald mehr oder weniger bedeutend ausfällt. mentlich zeigt Reykiavig in den Sommermonaten eine zu hohe peratur.

Für den Februar 1829 erstreckt sich die zu niedrige Temp über alle in unserer Tabelle verzeichneten Orte; der Unterschied

nen Mittel der mittleren Februartemperatur ist aber keineswegs gleich. In Marietta und in Petersburg war die Kälte am meisten, während in Reykiavig und in Irkutzk die negative Abweichung nur unbedeutend ist. Von Marietta nach Osten gehend findet man eine Abnahme der negativen Abweichung; für England weist Dove's Tabellen sogar eine, freilich unbedeutende positive Abweichung. Noch weiter nach Osten zu wächst die negative Abweichung wieder, um in Petersburg wieder ein Maximum von $4,07^{\circ}\text{R.}$ zu erreichen und dann wieder bis Irkutzk abzunehmen, wo sie nur noch beträchtlich beträgt.

Die Verhältnisse berechtigen uns wohl zu der Annahme, dass östlich von Irkutzk hinaus im Februar 1829 eine positive Abweichung von der normalen Temperatur stattgefunden habe, dass im östlichen Asien, in Nordamerika und dem zwischenliegenden Ocean der Februar 1829 zu warm gewesen, und dass also hier der Gegensatz gegen die niedrige Temperatur zu suchen sei, welche zu jener Zeit im Westen von Amerika, in Europa und im westlichen Theile von Asien herrschte. Es fehlt es an Beobachtungen aus jener fast 180 Längengrade umfänglichen Gegend, welche unsere Vermuthungen bestätigen könnten.

Der Gegensatz gegen 1829 bildet das Jahr 1834. Das westliche Europa hatte sich fast das ganze Jahr 1834 hindurch eines Ueberschusses an Wärme zu erfreuen, während wir auf der Tabelle für Island durchgängig negative Vorzeichen sehen. Der Januar 1834 war in den westlichen Europa bedeutend über dem allgemeinen Mittel, während alle auf der Tabelle verzeichneten Orte mit Ausnahme von Berlin zu viel Kälte hatten.

Der December 1831 war in Nordamerika sehr streng, in Europa mild, wie man aus folgender Zusammenstellung der Abweichungen vom normalen entsprechenden Monatsmittel sieht:

Fort Armstrong	— 7,8
Marietta	— 6,0
Concord	— 5,5
Philadelphia	— 4,2
Reykiavig	— 1,4
<hr/>	
Manchester	+ 2,48
Paris	+ 1,40
Danzig	+ 0,38

Russland war dann der December 1831 wieder etwas zu kalt.

Unregelmäßige Witterungsverhältnisse verschiedener Jahre 173

Die durch derartige Zusammenstellungen und Vergleichen, die im vorigen Paragraphen kennen lernten, hat Dove nach-

gewiesen, dass grössere Abweichungen vom normalen Gange der

	Nordamerika.		Island.	Europa.				Nordasien.		
	Marietta.	Concord.	Reykjavig.	Paris.	Berlin.	Petersburg.	Kasan.	Irkutsk.		
				1	8	2	9.			
Januar	0,48	— 0,71	— 0,02	— 3,03	— 2,16	— 0,94	— 1,38	0,79		
Februar	— 4,28	— 2,62	— 0,14	— 0,98	— 2,84	— 4,07	— 0,71	— 0,50		
März	— 2,69	— 1,63	— 0,37	— 1,02	— 1,55	— 2,45	— 0,68	— 0,10		
April	— 1,70	— 0,24	— 0,19	— 0,50	— 0,12	— 1,75	— 1,46	— 0,94		
Mai	— 1,34	— 1,00	— 0,11	— 0,22	— 1,71	— 0,70	— 0,58	— 0,92		
Juni	— 0,87	— 0,18	— 0,56	— 0,15	— 0,38	— 0,23	— 0,05	— 0,91		
Juli	— 0,57	— 0,44	— 1,91	— 0,53	— 0,00	— 1,93	— 1,37	— 0,19		
August	— 0,12	— 0,14	— 2,56	— 0,98	— 0,28	— 0,55	— 0,22	— 0,03		
September	— 0,47	— 2,87	— 0,06	— 1,10	— 0,27	— 1,55	— 1,26	— 0,03		
October	— 0,77	— 0,38	— 1,56	— 1,30	— 1,25	— 1,21	— 0,46	— 1,05		
November	— 1,77	— 0,04	— 0,20	— 1,47	— 2,34	— 1,46	— 0,26	— 1,65		
December	— 3,74	— 3,02	— 1,24	— 5,67	— 7,28	— 0,84	— 2,89	— 1,74		
				1	8	3	4.			
Januar	— 2,02	— 1,47	— 1,47	— 4,46	— 5,33	— 2,40	— 2,59	— 0,48		
Februar	— 3,30	— 1,55	— 0,05	— 0,43	— 1,20	— 0,25	— 4,65	— 1,94		
März	— 0,03	— 0,59	— 0,16	— 0,41	— 0,81	— 1,81	— 3,57	— 1,49		
April	— 0,47	— 0,87	— 0,23	— 1,43	— 1,11	— 0,14	— 1,74	— 1,45		
Mai	— 1,52	— 1,63	— 1,15	— 1,06	— 1,54	— 0,19	— 0,05	— 1,42		
Juni	— 0,23	— 0,71	— 1,79	— 0,50	— 0,99	— 1,67	— 0,21	— 0,74		
Juli	— 1,23	— 2,00	— 1,11	— 0,82	— 3,26	— 0,34	— 2,00	— 0,06		
August	— 0,48	— 0,88	— 2,03	— 1,01	— 2,64	— 2,01	— 1,30	— 0,15		
September	— 0,24	— 0,91	— 1,30	— 1,67	— 1,17	— 0,10	— 0,07	— 0,89		

Temperatur nicht local auftreten, sondern dass sie gleichzeitig über grössere Strecken der Erdoberfläche breitet zeigen, dass dagegen

2) eine zu grosse Kälte oder zu grosse Wärme auch nicht gleichzeitig über die ganze Erde verbreitet ist, sondern jedes in irgend einer Gegend auftretende Extrem sein Gewicht in einer entgegengesetzten Abweichung an andern Gegenden findet.

Es ist demnach höchst wahrscheinlich, dass stets dasselbe Quantum Wärme auf der Erdoberfläche verbreitet ist, dass aber die Vertheilung desselben ausser den periodischen Schwankungen auch nicht periodischen Aenderungen erleidet.

Was nun die Verbreitung gleichartiger Witterungsverhältnisse betrifft, so finden sie sich häufiger in der Richtung von Süd nach Nord, als von West nach Ost, so also, dass die entgegengesetzten Extreme in der Richtung von West nach Ost neben einander liegen, wofür hauptsächlich die Temperaturverhältnisse der Jahre 1829 und 1834 Belege liefern. So steht die Witterung in Europa häufig im Gegensatz zu der in Nordamerika und in Sibirien, während sie sich zu andern Gegenden mehr der des einen oder des andern Nachbar anschliesst.

Vollständig werden diese Verhältnisse erst hervortreten, wenn das Beobachtungsmaterial auch über den westlichen Theil von Amerika und den östlichen von Asien erstrecken wird.

Ob wir einen kalten oder milden Winter haben, ob der Sommer heiss oder gemässigt ist, das hängt davon ab, welche Windrichtung längere Zeit die herrschende ist. Wir werden weiter unten sehen, dass in der nördlichen Hemisphäre, locale Störungen abgerechnet, Nordost und Südwest die herrschenden Winde sind, welche, neben einander bestehend, sich abwechselnd zu verdrängen suchen. Während die Luft durch einen breiten Südweststrom über bestimmte Länder und Meere vom Aequator in höhere Breiten strömt, wird dagegen an andern Stellen ein entgegengesetzter Strom die Luft wieder dem Aequator zuführen. Nordost bringt uns aber, wie gleichfalls später nachgewiesen werden soll, kalte Winter und heisse Sommer, der Südwest hingegen mildere und kühle Sommer.

Ob also der Winter irgend eines Jahres in einer bestimmten Gegend strenger oder milder ist als gewöhnlich, wird demnach davon abhängen, ob diese Gegend zu jener Zeit in den Südwest- oder ob in den Nordoststrom aufgenommen ist, und ebenso sind die Abweichungen im Sommer von der gerade herrschenden Windrichtung abhängig.

Da nun aber dieselbe Windrichtung nicht gleichzeitig über die ganze Hemisphäre herrschen kann, sondern Ströme entgegengesetzter Richtung neben einander herlaufen müssen, so ergiebt sich aus diesem eine nothwendige Folge dieses Verhältnisses, dass gleichnamige Abweichungen vom normalen Gange der Wärme ebenfalls nicht über die ganze

isphäre verbreitet sein können, sondern dass man auf demselben Breitengrade abwechselnd positive und negative Abweichungen finden kann. Herrscht z. B. im Januar in Europa der Südweststrom vor, so wird daselbst eine für diese Zeit ungewöhnlich milde Witterung herrschen, während dann in denjenigen Orten, auf welchen gleichzeitig der Nordost weht, der negative Gegensatz auftritt.

Manchmal, wenn auch nicht häufig, hält eine Abweichung nach gleichem Sinne längere Zeit an. So finden wir zu Paris das ganze Jahr 1829 zu kalt, und zu Berlin erheben sich nur die Monate Juni und September unbedeutend über das Mittel. Ein noch auffallenderes Beispiel der Art bietet die im westlichen Europa vom Juni 1815 bis zum September 1816 fortdauernde Kälte, welche die traurige Missernte von 1816 zur Folge hatte. Gleichzeitig erfreute sich Osteuropa einer milden Temperatur.

Der bedeutenden Getreideansfuhr Odessas von 1815 bis 1817 verdankt dieser Ort sein Aufblühen als Handelsstadt.

Das Jahr 1834 zeigt dagegen für das westliche Europa vorherrschend positive Differenzen. Ebenso die Jahre 1811, 1822 u. s. w., welche als vorzügliche Weinjahre bekannt sind.

Es ist eine ganz irrige Annahme, dass stets auf einen kalten Winter ein heisser Sommer folge. Guten Weinjahren geht im Gegentheile meist ein milder Winter oder Frühling vorher. So war es wenigstens 1811, 1819, 1822 und 1834.

Uebersieht man die in diesem und dem vorigen Paragraphen mitgetheilten Thatfachen und Gesetze, so ergibt sich aus ihnen der Schluss, dass anomale Witterungsverhältnisse nicht kosmischen, sondern nur tellurischen Ursprungs sind.

Ein sehr anschauliches Bild der Wärmevertheilung in Europa im Laufe einiger ungewöhnlicher Winter hat Dove durch die Construction der thermischen Isometralen (Berlin 1864) gegeben, wie er die Linien gleicher Abweichung vom normalen Monatsmittel bezeichnet.

Von den sechs Karten mit Isometralen, welche Dove veröffentlicht hat, mögen hier die verkleinerten Copien einiger der interessantesten folgen.

Fig. 1 Tab. 15 stellt die gleichzeitigen Abweichungen vom normalen Monatsmittel für den December 1829 dar. Zu niedrige Temperatur ist durch ausgezogene, zu hohe ist durch punktirte Linien bezeichnet. In ganz Centraleuropa war es zu kalt, das Maximum der Abweichung vom normalen Monatsmittel mit -9° fällt aber auf die Linie von Breslau nach Krakau. In Wien, Amsterdam und Wilna war es um 6° zu kalt. In Sicilien und Drontheim herrschte die normale Temperatur, im nördlichen Norwegen und in Lappland dagegen war es zu warm.

Der Februar 1845 war in ganz Europa zu kalt, wie man aus Fi-

Fig. 2 Tab. 15 sieht, das Maximum der Kälte aber mit 7 Grad unter dem Mittel fiel nach Wilna.

Der November 1851, Fig. 1 Tab. 16, war im westlichen Europa zu kalt, im östlichen zu warm.

Fig. 2 Tab. 16 stellt die thermischen Isometralen Europas und westlichen Asiens für den Januar 1848 dar.

174 Veränderlichkeit monatlicher Mittel. Von den klimatischen Verhältnissen einer Gegend geben die allgemeinen Monatsmittel noch kein vollständiges Bild. Man erhält dies erst, wenn man den Grad der Veränderlichkeit der Witterungsverhältnisse kennt, wenn man weiss, wie weit sich die monatlichen Mittel einzelner Jahre von dem entsprechenden allgemeinen Mittel entfernen können. Auch auf diesen Punkt hat Dove seine Aufmerksamkeit gerichtet. Er bestimmte eine grosse Anzahl von Orten die absolute Veränderlichkeit, unter welcher er den grössten Spielraum versteht, innerhalb dessen die mittlere Temperatur der einzelnen Monate während einer möglichst grossen Reihe von Beobachtungsjahren schwankte. So ist z. B. die niedrigere mittlere Januartemperatur, welche seit 1719 im Laufe von 138 Jahren zu Berlin beobachtet wurde, die von 1823, welche $-9,36^{\circ}\text{R.}$, die höhere aber die von 1796, welche $+4,92^{\circ}\text{R.}$ betrug; die absolute Veränderlichkeit des Januar für Berlin ist demnach $14,28^{\circ}\text{R.}$ Nach dieser Erläuterung ist die auf den Seiten 482 bis 485 stehende Tabelle grössere Abweichungen monatlicher und jährlicher Mittel verständlich, welche ein Auszug der von Dove gegebenen ist.

Die zweite Verticalreihe giebt die Anzahl der Beobachtungsjahre während welcher die folgenden Differenzen vorkamen.

Aus der näheren Ansicht dieser Tabelle geht unmittelbar hervor:

1) Dass die absolute Veränderlichkeit der Temperatur zwischen den Tropen am geringsten, dass sie aber in den Gegenden der Monunen (Ostindien) bedeutender ist als in der Region der Passate.

2) In der gemässigten Zone, besonders an Orten eines noch überwiegenden Seeklimas, wächst die absolute Veränderlichkeit mit Annäherung an die kalte Zone, wie sich am deutlichsten durch die Vergleichung von Italien, den Alpen, Deutschland und Nordeuropa ergibt.

3) Die Nähe bedeutender Gebirge scheint besonders die Veränderlichkeit während der Sommermonate zu steigern, wie sich namentlich aus der Vergleichung der entsprechenden Zahlen für die Alpen und Deutschland ergibt.

4) Im Seeklima ist die Veränderlichkeit gering. Entfernt man sich von den Küsten in das Innere der Continente, so nimmt die Veränderlichkeit anfangs zu, dann wieder ab. So ist die Veränderlichkeit in England kleiner als an den benachbarten Küsten des Continents, hier wieder kleiner als im inneren Deutschland. Im nördlichen Asien ist die Veränderlichkeit wieder weit geringer als in Deutschland.

Nur den gegebenen Monat vorgekommenen Abweichungen ohne Berücksichtigung des Zeichens verzeihen. 1899
Berechnungen ist die mittlere Veränderlichkeit für

	Jan.	Febr.	März.	April.	Mai.	Jun.	Juli.	August.	Sept.	Octobr.	Novbr.	Decbr.	Mittel.
Sibirien und Ural . .	2,41	2,10	1,79	1,57	1,35	1,04	0,94	1,03	1,07	1,44	1,75	2,50	1,58
Nordöstliches Europa	2,54	2,27	1,70	1,31	1,39	1,03	1,19	1,12	0,87	1,18	1,53	2,34	1,47
Baltische Länder . .	1,70	1,68	1,39	0,99	0,97	0,86	1,06	1,05	0,70	0,99	1,18	1,61	1,18
Inneres Russland . .	2,50	2,10	1,74	1,41	1,13	1,21	1,29	1,31	1,20	1,17	1,51	2,80	1,61
Nördl. Deutschland .	2,16	2,03	1,58	1,28	1,16	0,91	1,04	1,08	0,87	1,07	1,32	2,11	1,38
Südl. Deutschland . .	2,09	1,65	1,37	1,35	1,21	0,97	1,02	1,05	0,93	1,03	1,29	1,82	1,32
Westeuropa	1,81	1,46	1,25	1,05	1,08	0,94	0,91	0,92	0,86	0,90	1,12	1,52	1,15
Schweiz	1,67	1,45	1,32	1,11	1,04	0,96	0,90	0,97	0,90	0,89	1,22	1,62	1,17
Italien	1,09	0,99	0,90	0,98	1,09	0,88	0,81	0,72	0,81	0,89	0,99	1,15	0,95
England	1,17	1,07	0,86	0,81	0,84	0,79	0,76	0,74	0,71	0,88	0,90	1,15	0,99
Oestliches Amerika .	1,41	1,51	1,20	0,88	0,88	0,76	0,72	0,74	0,79	0,86	1,09	1,41	1,02
Inneres Amerika . . .	1,86	2,10	1,66	1,46	1,13	0,94	0,93	0,90	1,04	1,21	1,42	1,71	1,36
Westamerika	1,75	1,56	1,15	0,57	0,63	0,58	0,69	0,63	0,51	0,65	1,52	1,53	0,98
Polarländer	1,54	1,27	1,80	1,17	1,08	0,92	1,36	1,18	0,95	1,26	1,24	1,56	1,27

Tabelle grösster Ab

		Januar.	Februar.	März.	April
Die Tropen.					
Calcutta . . .	8	5,23	4,62	3,64	3,22
Madras	21	3,42	3,24	4,98	7,47
Rio Janeiro .	7	2,66	1,55	1,83	1,27
Havanna . . .	7	3,40	4,20	2,28	2,24
Italien.					
Palermo . . .	39	5,93	5,66	3,78	4,75
Rom	20	3,98	5,34	2,42	3,54
Nizza	20	4,50	4,04	5,70	5,25
Mailand . . .	72	8,20	9,00	6,50	5,50
Mittel . .		5,47	5,38	5,32	4,67
Alpen.					
St. Bernhard .	21	8,26	6,64	7,41	4,13
Genf	42	9,79	6,30	6,08	5,92
Insbruck . . .	52	11,52	10,43	9,26	8,32
München . . .	34	10,50	6,78	7,96	6,51
Mittel . .		8,89	7,09	6,66	6,45
Inneres Deutschland.					
Carlsruhe . . .	40	9,38	8,35	8,76	6,66
Stuttgart . . .	43	14,00	9,08	6,28	8,27
Prag	15	10,54	9,17	6,33	4,27
Dresden	10	8,98	6,49	6,34	4,23
Berlin	138	14,28	10,45	10,12	8,41
Mittel . .		9,44	7,83	5,97	4,74
Küsten des Continents.					
Paris	33	9,54	7,94	5,87	5,02
Harlem	17	5,92	5,94	4,05	3,29
Elberfeld . . .	12	5,88	4,36	3,27	2,76
Hamburg	18	9,30	8,05	6,16	5,40
Danzig	24	9,07	6,96	6,15	5,33
Mittel . .		8,66	6,80	5,74	4,92

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Leher und jährlicher Mittel.

Juli.	August.	Septbr.	Octbr.	Novbr.	Decbr.	Jahr.
Die Tropen.						
1,42	0,76	1,66	1,23	1,67	1,91	
3,29	2,53	2,44	1,73	2,76	2,27	1,98
1,24	2,66	2,40	1,17	1,88	1,29	
2,40	2,02	2,04	1,94	1,98	1,41	1,41
Italien.						
3,82	3,24	4,71	3,54	3,93	5,07	1,76
3,50	3,88	4,56	3,34	4,11	4,44	2,01
3,90	4,45	3,75	4,35	4,25	4,45	3,55
4,60	5,23	6,89	5,20	5,20	6,80	2,78
3,63	4,45	4,26	4,25	4,77	5,29	2,21
Alpen.						
6,21	3,54	5,65	5,02	8,17	6,29	2,29
5,06	5,14	4,27	5,09	6,37	7,53	2,24
6,46	8,93	6,13	7,46	8,47	13,03	4,45
5,22	6,49	5,79	4,47	5,23	9,17	2,57
4,99	5,36	4,65	5,10	5,99	9,10	2,59
Inneres Deutschland.						
4,95	5,31	4,77	6,63	6,62	9,68	2,25
5,31	6,23	4,72	6,94	5,10	10,76	3,02
3,67	5,70	3,11	3,81	6,01	11,87	3,30
5,14	5,14	2,82	3,57	4,30	8,28	3,09
7,18	6,98	5,21	6,89	8,49	13,47	
4,71	5,01	3,41	4,45	5,23	9,72	2,57
Küsten des Continents.						
4,00	4,70	3,86	4,88	5,40	9,70	2,35
3,84	3,97	2,64	4,20	4,41	8,72	2,65
3,78	4,75	3,97	3,54	4,84	0,53	2,12
5,05	5,28	3,15	6,00	4,56	8,32	2,46
4,19	6,14	4,26	3,81	5,55	9,14	3,58
4,54	5,30	3,79	4,56	5,48	9,11	2,69

Tabelle grösster Abwe

		Januar.	Februar.	März.	April.
E n g l a n d.					
London . . .	52	9,47	5,91	5,73	4,86
Manchester . .	25	8,76	5,42	3,81	5,55
Dublin	17	6,68	5,01	5,71	4,62
Edinburgh . .	11	4,15	3,45	4,13	3,48
Mittel . .		5,88	4,86	4,14	3,97
Nordeuropa und Nordasien.					
Stockholm . .	16	10,59	9,10	7,15	6,36
Upsala	40	13,13	11,26	11,22	7,64
Torneo	31	11,66	14,67	9,93	8,00
Petersburg . .	14	7,37	9,32	8,19	6,38
Kasan	8	5,87	8,35	5,36	3,32
Irkutsk	10	4,47	4,66	4,76	2,12
Mittel . .		10,51	10,29	8,17	6,96
N o r d a m e r i k a.					
Salem	43	6,63	7,60	4,84	4,69
Marietta . . .	10	6,98	8,45	5,36	6,34
Montreal . . .	10	3,28	6,00	4,00	5,68
Mittel . .		5,98	6,53	4,76	4,96

höher und jährlicher Mittel.

Juli.	August.	Septbr.	Octbr.	Novbr.	Decbr.	Jahr.
E n g l a n d.						
4,76	4,58	4,25	4,84	4,80	7,39	3,02
5,34	3,15	4,18	4,31	5,33	5,19	2,27
3,15	3,95	3,73	4,26	4,99	4,74	3,04
2,41	3,69	2,94	2,00	3,83	3,51	1,42
3,51	3,63	3,63	4,20	4,40	5,04	2,18
Nordeuropa und Nordasien.						
5,57	5,62	4,10	5,48	5,65	10,06	3,30
5,51	4,78	4,78	7,44	8,56	11,03	3,10
7,22	7,70	9,20	8,20	8,48	12,58	0,96
5,41	4,83	3,62	3,60	5,46	9,22	3,17
3,37	4,78	2,38	4,50	7,06	10,47	
2,68	1,72	1,25	1,91	3,22	5,02	
5,54	5,82	5,35	6,76	7,43	9,66	2,64
N o r d a m e r i k a.						
4,85	4,41	3,92	5,55	4,68	9,28	2,69
3,22	3,56	4,46	5,98	5,74	10,25	2,31
2,72	3,92	2,88	3,76	5,76	8,56	2,48
3,88	3,93	3,56	4,27	4,74	8,15	2,58

175 Seculare Variationen des Klimas. Die Frage, ob in historischen Zeiten das Klima verschiedener Länder eine merkliche Aenderung erlitten habe oder nicht, könnte nur dann mit Sicherheit beantwortet werden, wenn uns genaue meteorologische Beobachtungen weitstens aus mehreren Jahrhunderten vorlägen. Bekanntlich aber ist Erfindung des Thermometers selbst noch ziemlich neuen Datums erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts hat man angefangen, regelmäßig fortgesetzte Beobachtungen über den Gang der Lufttemperatur zu machen.

Glaisher glaubt aus den in England gemachten Beobachtungen eine allmähliche Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur in England nachweisen zu können. Er fand nämlich von

1770 bis 1800	die mittlere Temperatur gleich	8,72°
1800 " 1829	" " " "	9,17
1830 " 1860	" " " "	9,44

Nach Dove weicht die aus der Periode von 1848 bis 1865 abgeleitete mittlere Jahrestemperatur für Berlin nur um $\frac{1}{100}$ Grad von der aus 137 Jahren abgeleiteten Mittel ab.

Nach Loomis ist die mittlere Temperatur von New-Haven, welche sich aus den Jahren 1778 bis 1820 ergibt, gleich 7,60, für die Zeit von 1820 bis 1865 aber nur 7,52 Grad.

Solche Resultate sind jedoch keineswegs sehr zuverlässig, weil sie nicht nachweisen lässt, ob die in verschiedenen Perioden angewandten Instrumente genau mit einander übereinstimmen, ob nicht eine veränderte Anstellung stattgefunden habe u. s. w.

Will man das Problem einer etwaigen Veränderung des Klimas mehrere Jahrhunderte weit zurückverfolgen, so bleibt nichts übrig, als nach etwaigen Veränderungen der Flora und der Fauna zu forschen.

Aus der Thatsache, dass in Palästina heute noch Weinstock und Dattelpalme neben einander cultivirt werden, wie in biblischen Zeiten, schliesst Arago, dass sich das Klima jenes Landes seit 3300 Jahren nicht merklich geändert habe. Das Gleiche hält Arago auch für Athen, Griechenland und Rom und Biot hält es auch für China für wahrscheinlich, während manche andere Länder Veränderungen zeigen, welche auf eine Abnahme der mittleren Temperatur deuten.

So ist es z. B. eine Thatsache, dass in manchen Gegenden Frankreichs und Deutschlands vor Jahrhunderten Wein gebaut wurde, in Gegenden, in welchen diese Cultur gegenwärtig eingegangen ist. Einen sicheren Schluss auf Verschlechterung des Klimas kann man daraus aber nicht ziehen, denn das Aufgeben des Weinbaues an Orten, welche für denselben weniger geeignet sind und welche nur sehr geringe Weine lieferten, kann auch daher rühren, dass man gegenwärtig bei den so sehr verbesserten Verkehrsverhältnissen mit weniger Kosten guten Wein beziehen, als schlechten bauen kann.

In den Alpen scheinen vielfache Thatsachen auf eine Verschlechterung des Klimas hinzudeuten. Es ist eine Thatsache, dass in früheren Jahrhunderten viele Alpengletscher weniger ausgedehnt waren als gegenwärtig. In der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts wurden Kins aus dem Wallis nach Grindelwald zur Taufe auf einem Wege gegen, welcher jetzt völlig vereist ist. Eine Capelle, welche noch auf Hopf's Karte von 1570 verzeichnet ist, wurde wahrscheinlich zu Anfang des 17. Jahrhunderts durch den Gletscher zerstört. Eine ihr entnommene Glocke mit der Jahreszahl 1044 wird noch zu Grindelwald aufbewahrt.

Zu Gutannen im Haslithal wurde früher Hanf gebaut, eine Cultur, die gegenwärtig wegen zu frühen Schneefalles nicht mehr möglich ist.

Sonst bezog man die Engstlenalp mit den Kühen schon am 21. Juni, während dies seit dem Ende des 18. Jahrhunderts erst 8 bis 10 Tage früher geschieht. Die Rückkehr findet um einige Tage früher statt als sonst.

Es ist eine leider unzweifelhafte Thatsache, dass die obere Gränze des Waldes gegenwärtig um mehrere hundert Fuss niedriger ist als früher. Hoch über der jetzigen Waldgränze findet man noch Reste alter Bäume, abgestorbene Stämme, mächtige Wurzeln und Holzreste als Zeugen einer früher hier bestandenen kräftigen Vegetation.

Aus dem Vordringen der Gletscher lässt sich übrigens noch kein sicherer Schluss auf eine Erniedrigung der mittleren Temperatur ziehen, die Lage des unteren Gletscherrandes von gar vielen zusammenwirkenden

Ursachen abhängt, die sich meist einer eingehenderen Untersuchung bedürfen. Ist es doch eine Thatsache, dass in den Alpen einige Gletscher vordringen, während andere gleichzeitig im Rückgang begriffen sind. Seit einigen Jahren sind die Gletscher des Berner Oberlandes, namentlich die Grindelwald- und der Rosenlauri-Gletscher sehr merklich zurückgegangen, ohne dass die mittlere Jahrestemperatur eine merkliche Veränderung erfahren hätte.

Ebenso wenig kann man aus dem Herabsteigen der oberen Waldgränze einen sicheren Schluss auf eine Erniedrigung der mittleren Jahrestemperatur ziehen. Als unmittelbare Ursache dieser bedauernswürdigen Thatsache muss man vielmehr den Umstand hervorheben, dass die Waldbewohner bis jetzt so gut wie gar keine Sorgfalt auf die Erhaltung der Wälder verwendeten, dass sie im Gegentheil möglichst bemüht waren, ihre Weiden zu vergrössern. Da nun die Weideplätze meist oberhalb der Wälder liegen, so werden diese zunächst an ihrer oberen Gränze angegriffen, und es bleiben nur einzelne Bäume, die Wetterleuchten, zum Schutze des Viehes stehen. Die Füsse des Rindviehs und die Zähne der Ziegen und Schafe lassen aber keinen jungen Wald mehr kommen. Dazu kommt noch, dass einzelne Waldstrecken absichtlich oder durch Zufall abgebrannt werden und dass Lawinen und Stürme häufige Verheerungen in den ohnehin gelichteten Wäldern anrichten, so dass für Nachpflanzung gesorgt wird.

Das Aussterben der höher gelegenen Alpenwälder hat aber eine Verkümmern der übrigen Vegetation zur Folge, indem sie ger gegen Winde geschützt ist und Regengüsse den fruchtbaren nun ungehinderter wegschwemmen können.

Als Beweis für die Abnahme der mittleren Jahrestemperatur man angeführt, dass die Cultur des Oelbaums früher an den Ufer Genfer Sees heimisch gewesen sei, während sie jetzt daselbst nicht möglich ist. In einer Abhandlung, welche im 10. Bande des *Bulletin de la société vaudoise des sciences naturelles* unter dem Titel *Notes sur le problème de la variation du climat* erschien und in welcher der in Paragraphe besprochene Gegenstand unter Angabe der Quelle ausführlich besprochen wird, hat aber Dufour nachgewiesen, dass b Irrthum vorliegt. Die Früchte einzelner in Gärten als Curiositäten gener Oelbäume kamen nie zur vollen Reife.

Als Beweis für die früher am Genfer See betriebene Cultur d baums wird angeführt, dass sich in den Archiven von St. Saphor Notiz finde, dass dereinst eine Abgabe in Oel geleistet worden s ches von in der Umgebung gezogenen Oelbäumen gewonnen word Dufour weist aber nach, dass in alten Urkunden allerdings die rung gewisser Quantitäten Oel erwähnt wird; von Olivenöl ist al gend die Rede, wohl aber wird öfters Nussöl genannt.

In der genannten Abhandlung giebt Dufour von 1480 an, es ausfindig zu machen war, das Datum der Weinlese zu Lansam einigen anderen Orten in der Umgebung des Genfer Sees. Die Lese (17. und 16. September) fand in den Jahren 1503 und 18 späteste (am 12. November) in den Jahren 1698 und 1816 St der letzten Hälfte des 17. und in den ersten zwei Dritteln des 18. Jahrhunderts war die Weinlese durchschnittlich um ungefähr 12 Tag als im 16. und in der Hälfte des 17. Jahrhunderts. In der Hälfte des 18. Jahrhunderts wurde die Lese wieder frühzeitiger, denn auch in dem gegenwärtigen Jahrhundert durchgängig frü als in den ersten 60 Jahren des vorigen, ohne jedoch so früh z wie im 16. Jahrhundert.

Die Variationen der Zeit der Weinlese sind übrigens nicht durch meteorologische Verhältnisse, sondern auch durch die C durch die gepflanzten Traubensorten u. s. w. bedingt. Jedenf die Variationen der Lesezeit nicht der Art, dass man daraus mit heit auf eine Veränderung des Klimas schliessen könnte.

Bei den klimatischen Veränderungen eines Landes spielt nicht allein die Wärme, sondern auch die atmosphärische tigkeit eine wesentliche Rolle, und verschiedene Thatsachen deu auf hin, dass in historischen Zeiten die Feuchtigkeit in Europa abgenommen hat.

In nördlicheren Gegenden ist ein allmähliges Aussterben Pflanz zweifellos nachgewiesen. So ist die Rothtanne, Pin

Irland, wo sie sonst schöne Wälder bildete, vollständig ausgestorben. Island fanden sich früher Birkenwälder, von welchen jetzt nichts mehr zu sehen ist. Auch auf den shetländischen Inseln gab es früher Birken; jetzt sind sie daselbst völlig verschwunden.

In Lappland findet man abgestorbene Birkenwälder, welche ihre toten Stämme und Aeste wie Skelette in die Luft strecken.

An der Ostküste von Grönland bestand noch im Jahre 1406 eine Colonie von 190 Dörfern, welche seitdem, durch Eis von allem Verkehr abgeschnitten, zu Grunde gegangen ist. Erst 1822 fand Scoresby die Colonie wieder eisfrei und sah die menschenleeren Wohnungen mit Jagd- und Hausgeräthe.

Abnahme der Temperatur in höheren Luftregionen. 176

Erwärmung der Luft rührt einerseits daher, dass sie einen Theil der durchdringenden Sonnenstrahlen absorbirt, andererseits daher, dass sie mit dem durch die Sonnenstrahlen erwärmten Boden in Berührung ist. Die letztere Wärmequelle ist weitaus die bedeutendste.

Die durch Berührung mit dem Boden erwärmte Luft wird eben so, wie die Erwärmung ausgedehnt, ihr specifisches Gewicht nimmt ab, und deshalb steigt sie in die Höhe, die vom Boden erhaltene Wärme mit sich führend. Allein diese Wärme macht sich in den höheren Luftregionen keineswegs durch eine bedeutende Temperaturerhöhung geltend; denn beim Aufsteigen nimmt die Dichtigkeit der Luft fortwährend ab, und die Abnahme der Dichtigkeit ist in Folge der bei der Ausdehnung leisteten Arbeit von einer fortwährenden Wärmebindung begleitet. Es folgt nun, dass die höheren Luftschichten kälter sein müssen als die tieferen.

Dass eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man in diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

Die Abnahme der Temperatur bei verticaler Erhebung kann nicht streng ein regelmässiges Gesetz befolgen, weil die beständigen Luftströmungen, Wolken-, Nebelschichten u. s. w. einen mehr oder weniger bedeutenden Einfluss ausüben.

Gay-Lussac stieg im Jahre 1804 in einem Luftballon bis zur Höhe von 21 000 Fuss; während das Thermometer am Boden 24,8° R. zeigte, beobachtete er in jener Höhe die Temperatur von — 7,6° R., also eine Temperaturdifferenz von mehr als 32 Graden. Barral und Bixio, welche am 27. Juli 1850 ungefähr zu gleicher Höhe aufstiegen, gelangten in einer Höhe von 6000 Fuss in eine Nebelschicht, deren obere Grenze erst erreicht wurde, nachdem sie sich bis zu einer Höhe von 10 000 Fuss über dem Boden erhoben hatten. Nahe an der oberen Grenze dieser Nebelschicht zeigte das Thermometer noch — 8° R., sank

aber unmittelbar über derselben auf $-18,4^{\circ}\text{R}$. In einer Höhe von 21 000 Fuss zeigte das Thermometer nur noch -32°R .

Tab. 17 giebt eine vergleichende Uebersicht der thermischen Beobachtungen, welche bei drei der im Jahre 1852 in England unternommenen wissenschaftlichen Luftschifffahrten angestellt worden sind. Die Zahlen auf der rechten und auf der linken Seite der Figur geben die nach Pariser Fussen gemessenen Höhen; Zahlen, welche auf den schraffirten Streifen stehen, geben die an entsprechenden Stellen beobachteten Temperaturen in Réaumur'schen Graden an. So sehen wir z. B., dass bei der Luftfahrt vom 17. Aug. in einer Höhe von 11 000 Fuss die Temperatur von $+2^{\circ}\text{R}$, bei der Luftfahrt vom 10. November aber dieselbe Temperatur in einer Höhe von 4000 Pariser Fuss beobachtet wurde.

Der besseren Uebersicht wegen sind die Luftschichten, innerhalb deren die Temperatur über 10° , zwischen 10 und 0° , zwischen 0 und -10° und unter -10° betrug, durch verschiedene Schraffirung unterschieden.

Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man steigt, desto mehr ändert sich die Vegetation den Charakter kälterer Himmelsstriche an; am auffallendsten zeigt sich dieser Wechsel in den Tropen; besonders gross erscheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerikas, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Gränzen des ewigen Schnees aufsteigen kann.

So finden wir denn auch manche Alpenpflanzen im höchsten Norden Europas wieder, wie z. B. *Drias octopetala*, welche auf Nowaja Semlja ihre lieblichen Blüthen eben so schön entwickelt, wie auf den düsteren Alpenmatten.

Wie in der Andeskette und den mexicanischen Gebirgen die mittlere Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, sieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle.

Höhe über der Meeresfläche in Pariser Fussen.	Mittlere Temperatur.	
	Cordilleras de los Andes.	Mexicanische Gebirge.
0	22°R .	$20,8^{\circ}\text{R}$.
2000	17,6	15,8
4000	14,4	14,4
6000	11,3	11,0
8000	8,6	6,0
10000	1,2	0,8

Da sich in der heissen Zone die Temperatur der Luft im Laufe Jahres nur wenig ändert, so kann man sich von der Temperatur verschiedenen Höhen der Andeskette die beste Vorstellung machen, man sie mit der mittleren Temperatur gewisser Monate in höhe-
reiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoco täg-
ine Temperatur, welche noch um 4° R. höher ist als die mittlere
eratur des Monats August in Palermo; zu Popayen, 5400 Fuss
dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in
alle; zu Quito die Temperatur von Paris während der letzten Hälfte
lai, in den Paramos (11000 Fuss) die Temperatur von Paris wäh-
der ersten Hälfte des April.

Man kann sich an den Abhang grosser Gebirgsmassen isothermische
n gelegt denken, welche mehr oder weniger als horizontale Curven
sinnen werden. So zieht sich um den Fuss der Andeskette eine Iso-
ie von 22° . Da wo eine 6000 Fuss hohe Ebene in die Masse der
skette einschneidet, befindet sich ungefähr die Isotherme von
L u. s. w.

Die Isotherme von 0° wird an der Andeskette durch eine Reihe
inander getrennter in sich geschlossener Curven, welche um die
ben Schneekuppen herumziehen, repräsentirt sein.

So folgen sich denn hier in verticaler Richtung in ganz kurzen
rnungen von einander die Isothermen in gleicher Ordnung, wie
sie durchschneidet, wenn man von dem Aequator bis in die Polar-
den wandert.

Wie die Isothermen in den Alpen über einander liegen, zeigt die
schlagintweit (Poggendorff's Annalen LXXXII) entlehnte Tab. 18.
Da Humboldt für die südamerikanischen Gebirge unter dem Aequa-
ine Temperaturabnahme von 20° R. für eine Erhebung von 15000
gefunden hat, so ergiebt sich dort im Durchschnitt eine Erhebung
50 Fuss für eine Temperaturabnahme von 1° R.

Kennt man für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Tempe-
rniedrigung von 1° R. entspricht, so kann man aus der mittleren
eratur eines höher gelegenen Ortes annähernd genau die mittlere
eratur berechnen, welche sich unter sonst gleichen Umständen im
u des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhen-
schiede, welcher einer Temperaturdifferenz von 1° R. entspricht, in
öhe des Beobachtungsortes, so findet man, um wie viel Grade die
re Temperatur im Niveau des Meeres höher sein würde. Auch in den

entspricht durchschnittlich eine Erhebung von 750 Fuss einer
eraturerniedrigung von 1° R.; nun aber ist das Hospiz auf dem
rnhard 7670 Fuss über dem Meeresspiegel, seine mittlere Tempera-

also um $\frac{7670}{750} = 10,2^{\circ}$ R. niedriger als am Meeresspiegel; da aber

ittlere Temperatur auf dem St. Bernhard — $0,8^{\circ}$ R. ist, so ergiebt
ir die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres $9,4^{\circ}$ R.

Genf liegt 1218 Fuss über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur $8,2^{\circ}$ R. ist demnach $\frac{1218}{760} = 1,6^{\circ}$ R. niedriger als sie : wenn Genf im Niveau des Meeres läge; seine Temperatur würde diesen Fall $8,2 + 1,6 = 9,8^{\circ}$ R. betragen.

Die mittlere Temperatur der südöstlichen Schweiz, auf den Meeresspiegel reducirt, wäre demnach $9,4^{\circ}$ bis $9,8^{\circ}$ R.

Die Isothermen auf der Karte Tab. XVI, sowie die Isochimenen auf der Karte Seite 454 sind so gezogen, wie die Isothermen laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresspiegels die Temperatur der verschiedenen Orte ist also auf das Meeresspiegel reducirt.

In Ländern, welche von Gebirgsketten namhafter Höhe sind, ist der Verlauf der Isothermen natürlich ein ganz anderer als nach den Andeutungen der in §. 166 besprochenen Isothermen würde, wie man dies z. B. aus dem Kärtchen Fig. 262 ersieht.



die Jahresisothermen für den österreichischen Staat und b. Länder nach Réaumur'schen Graden darstellt. Dieses Kärtchen dem 3. Hefte von Petermann's Mittheilungen für 1864 ist, lässt den Einfluss des Alpensystems auf den Verlauf der Isothermen deutlich hervortreten.

Der Verlauf der Isothermen in gebirgigen Ländern wird der Sache nach einige Aehnlichkeit mit dem Verlauf der Isochimenen (Linien gleicher mittlerer Höhe über dem Meeresspiegel) haben. Diese Aehnlichkeit um so mehr hervortreten, je grösser der Maßstab der Karten gewählt ist, je mehr man also bei der Darstellung der Höhenschichten sowohl als auch der Isothermen ins Detail eingetht.

Temperaturschwankungen in höheren Luftregionen. 177

Berge, welche nicht bedeutend ausgedehnte Hochebenen bilden, vorzugsweise durch hohe Kämme und Gipfel gebildet werden, z. B. für die Alpen der Fall ist, sind die Temperaturschwankungen in der Höhe weit geringer als in der Tiefe, weil isolirte Berge greifen auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen beschränkten Einfluss ausüben können, und weil die periodischen Temperaturschwankungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den Luftschichten mittheilen, in der Höhe in ihrer Wirkung schon schwächer sind, ehe sie merklich werden.

So fand z. B. Kämtz auf dem Rigi als Mittel aus einer Beobachtung von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums $= 3,04^{\circ}\text{R.}$, während diese Differenz zu Zürich gleichzeitig betr. 1,5 betrug.

Auf dem St. Bernhard beträgt (Tab. S. 456) die Differenz zwischen den höchsten Temperaturen des wärmsten und des kältesten Monats nur 1,5, während für Genf dieser Unterschied auf $18,09^{\circ}\text{R.}$ steigt.

Da nun die Schwankungen der Temperatur benachbarter, aber ungleich gelegener Orte einander nicht parallel gehen, so ist klar, dass die Temperaturdifferenz zwischen zwei solchen Orten nicht constant ist, sondern, dass sie mit der Jahreszeit sich ändert. So beträgt die Differenz der mittleren Januartemperatur für Genf und den St. Bernhard 1,5, während der Unterschied der mittleren Julitemperatur 1,5 beträgt.

Es folgt dann auch, dass die Höhe, um welche man sich erheben muss, damit die Temperatur um 1°R. sinkt, nicht für alle Zeiten des Jahres die gleiche ist; sie ist grösser im Winter, kleiner im Sommer.

Die Wirkung des erwärmten Bodens kann sich nur nach und nach in die höheren Luftschichten erstrecken. Es ist also immer eine gewisse, wenn auch weniger bedeutende Zeit nöthig, bis sich die in der Tiefe stattfindenden Temperaturschwankungen in grössere Höhen fortpflanzen; daher wird nothwendiger Weise die Zeit des täglichen und des jährlichen Maximums verschoben, und zwar muss es auf den Höhen später eintreten als im Thal. Den Beobachtungen von Kämtz zufolge tritt das Maximum der Temperatur erst um 5 Uhr Nachmittags Statt.

So ist die Zeit des jährlichen Temperaturmaximums auf hohen Bergen sehr spät verrückt. Während in Genf der Juli entschieden der heisseste Monat ist, ist auf dem St. Bernhard die mittlere Temperatur des Juli und des August fast gleich; es ist also offenbar die Zeit der grössten Wärme gegen den August hin verschoben.

Bei plötzlich eingetretener strenger Winterkälte kommt es öfters vor, dass an höher gelegenen Orten wärmer ist als an tiefer gelegenen. So zeigte zu Dresden das Thermometer am 23. Januar 1823 auf $- 27^{\circ}\text{R.}$, während es auf dem Königsstein nur $- 17^{\circ}$ zeigte. Am 22. Januar

1850 fiel das Thermometer auf dem Brocken nur auf -9° R.,
 rend es auf der umgebenden Niederung auf -20° fiel.

Noch ein anderer Umstand veranlasst manchmal, dass es in
 Höhe wärmer ist als in der Tiefe, wenn nämlich bei windstillem W
 die Thäler mit Nebel bedeckt sind, während sich die Höhen des So
 scheins erfreuen, wie dies in Gebirgsgegenden im Spätherbst u
 Winter öfters der Fall ist. So ist z. B. das Aarethal bei Solothu
 den letzten Monaten des Jahres oft Wochen lang in Nebel gehüllt,
 rend man von der Höhe des Weissensteins bei herrlichem Sonnen
 das wogende Nebelmeer übersieht, aus welchem einzelne Anhöhen
 Inseln hervortauchen, während im Süden die lichten Alpenfirnen
 einförmige Nebelfluth begrenzen.

Vergleicht man an einem solchen Nebeltage die Temperatur
 meteorologischen Station Solothurn mit der der Station Weisse
 so ist letztere namhaft höher. Am 9. December 1863 um 1 Uhr
 mittags war z. B. die Lufttemperatur zu Solothurn $+0,2^{\circ}$ C., zu
 Weissenstein aber $+7^{\circ}$ C.

Während für grössere Höhendifferenzen die höheren Luftschicht
 nur ausnahmsweise wärmer sind als die tieferen, steigt in der Regel
 Temperatur der Luft, wenn man sich in den untersten Luftschicht
 vom Boden aus bis zu einer gewissen Höhe erhebt. So fand z. B. P
 (Jelinek, Zeitschrift für Meteorologie 2. Bd.) für Emden als Resultat
 langjähriger Beobachtungen folgende Werthe der mittleren Monats
 temperatur der Luftschichten, welche sich $1''$, $17' 3''$ und $28' 4''$ über
 Boden befinden:

	$1''$	$17' 3''$	$28' 4''$
Januar	$-0,27^{\circ}$ R.	$+0,11^{\circ}$ R.	$-0,01^{\circ}$ R.
Februar	$+0,49$	$0,94$	$+0,94$
März	$2,13$	$2,71$	$2,85$
April	$5,20$	$5,98$	$6,21$
Mai	$8,48$	$9,47$	$9,76$
Juni	$11,52$	$12,50$	$12,88$
Juli	$12,53$	$13,54$	$13,85$
August	$12,52$	$13,63$	$13,93$
September	$10,24$	$11,20$	$11,43$
October	$7,10$	$7,92$	$8,03$
November	$3,15$	$3,61$	$3,58$
December	$1,13$	$1,46$	$1,44$

In eine Höhe von $17'$ bis $28'$ ist also die mittlere Temperatur
 Monate höher als die unmittelbar auf den Boden aufliegende Luft.

Pictet fand zu Genf bei stillem, heiterem Wetter, 2 bis $2'$,
 den nach Sonnenaufgang, die Temperatur der freien Luft in einer
 von 75 Fuss über dem Boden gleich der in einer Höhe von 5 Fuss

stehender Sonne stieg dann das untere Thermometer rascher als das obere bis zur heissesten Tageszeit, wo das untere Thermometer ungefähr 1° höher stand als das obere. Nachher nahm die Differenz der beiden Thermometer bis kurz vor Sonnenuntergang wieder ab, während in der Nacht das obere Thermometer höhere Temperaturen angab.

Bei ganz bedecktem Himmel, bei dichtem Nebel oder bei heftigem Winde war der Stand der beiden Thermometer der gleiche.

Temperaturverhältnisse der Hochebenen. Ein isolirter 178
 in die Luft hineinragender Bergkegel oder ein Bergkamm wird die oberen Regionen der Atmosphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte Luftmassen an ihm vorüberführen. Eine Hochebene von bedeutendem Umfange aber kann sich trotz dem Einflusse der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, indem sie in einer weniger dichten und weniger hohen Luftschicht bedeckt ist als die tieferen Gegenden, weil also die Sonnenstrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Absorption in der Luft weniger Wärme verlieren haben als die, welche zur Tiefe gelangen. Eine Hochebene kann auch einen merklichen Einfluss auf die Erwärmung der höheren Regionen ausüben, welche über ihr schweben und welche eben wegen der grösseren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter sonst gleichen Umständen muss es demnach auf Hochebenen kälter sein als auf isolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicanischen Gebirgen zwischen dem 18. und 19. Grade nördlicher Breite hört schon in einer Höhe von 13 600 Fuss alle phanerogamische Vegetation auf, die Schneegränze findet sich in einer Höhe von 14 500 Fuss, während in Peru bei gleicher südlicher Breite in grösserer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potosi liegt 13 540 Fuss über dem Meeresspiegel, die Schneegränze liegt hier in einer Höhe von 13 350 Fuss. Dies erklärt sich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Perus. Das Plateau, in dessen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt sich zwischen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 12 350 Fuss; bei einer Breite von 60 geographischen Meilen erstreckt es sich vom 16. bis zum 20. Grade südlicher Breite, so dass es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Tropen in der Nähe des Aequators haben höchstens eine Oberfläche von 1000 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicanischen Hochebene beträgt nur 6000 bis 8000 Fuss.

Ein anderes Beispiel bietet die Hochebene von Tibet und der chinesischen Tartarei. In einer Höhe von 11 700 Fuss wird hier in einer Breite von 32° noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerste reicht noch weit höher hinauf, während auf dem südlichen Abhange des Himalaya, in den Thälern des Ganges schon in einer Höhe von 9500 Fuss die Cultur aufhört; ja selbst unter dem Aequator auf den Plateaus von

Quito und Caxamarca ist die Gränze der Cultur des Weizens 2300 F. tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Der Einfluss der Hochebenen auf die Temperatur der oberen Regionen ist in ihrer Mitte am bedeutendsten. Zu Santa Fe de Bogotä in der Mitte eines Plateaus, ist die mittlere Jahrestemperatur $14,5^{\circ}$ während sie in gleicher Höhe zu Facatativia am Rande des Plateaus $13,1^{\circ}$ R. ist.

Während sich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen stark erwärmen, ist natürlich auch aus demselben Grunde Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel deutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Caxamarca in Peru wo in einer Höhe von 4300 Fuss die mittlere Temperatur 16° R. erfriert doch der Weizen häufig des Nachts. Humboldt sah hier Tage im Schatten das Thermometer auf 25° R. steigen, während es Sonnenaufgang nur 8° R. gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen, viel grösser als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heisse Sommer, gleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner $5,7^{\circ}$ R., und dies ist ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil dagegen Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen Culturgränzen und die Schneegränze nicht etwa deshalb höher als dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmässigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen Abdachung heisser ist, und dann, auch weil auf dem Nordhang viel weniger Schnee fällt als auf der Südseite.

179 Die Schneegränze. Die Temperaturabnahme in den höher dem Meeresspiegel gelegenen Luftschichten wird dadurch besonders fallend nachgewiesen, dass auf hohen Gebirgen der Schnee selbst in Sommermonaten nicht wegschmilzt, dass diese Gipfel Jahr aus Jahr mit Schnee bedeckt bleiben. Im Vorübergehen ist der Gränze des ewigen Schnees in den Andes von Südamerika bereits Erwähnung geschehen wollen jedoch diesen Gegenstand noch einer ausführlicheren Betrachtung unterwerfen.

Unter der Gränze des ewigen Schnees oder kurz der Schnee-gränze versteht man diejenige Höhe, über welche hinaus der Schnee den Abhängen der Gebirge, welche nicht allzu steil sind, so dass er hauptsächlich auf denselben liegen bleiben kann, selbst in der heissesten Jahreszeit nicht vollständig wegschmilzt.

Solche Jahr aus Jahr ein mit Schnee bedeckte Abhänge werden Schneefelder genannt.

Im Allgemeinen wird natürlich die Schneegränze um so tiefer g

Meeresspiegel herunter rücken, je mehr man sich vom Aequator aus den Polen nähert; doch ist ihre Höhe keineswegs allein durch die geographische Breite eines Ortes bestimmt, sondern sie wird durch mancherlei Verhältnisse auf das Mannigfaltigste modificirt.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden der Erde.

Gebirge.	Breite.	Untere Gränze des ewigen Schnees.	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in gleicher Breite	
			d. ganzen Jahres.	des Sommers.
Peru, Küste	$71\frac{1}{4}^{\circ}$ N.	2220 par. F.	$0,2^{\circ}$ R.	$5,1^{\circ}$ R.
Peru, im Inneren . . .	$70 - 70\frac{1}{4}^{\circ}$	3300 "	2,4	8,9
„	65°	2890 "	3,3	9,6
Peru, im Inneren . . .	$60 - 62^{\circ}$	4800 "	3,3	13,0
Ural (Sibirien)	$60^{\circ} 55'$	4190 "	. . . .	. . . .
Ural	$59^{\circ} 40'$	4490 "	0,9	13,4
Himalaja	$56^{\circ} 40'$	4930 "	1,6	10,1
„	$49\frac{1}{4} - 51^{\circ}$	6590 "	5,8	13,4
„	$45\frac{3}{4} - 46^{\circ}$	8350 "	8,9	14,7
Elbruz (Elbruz)	$43^{\circ} 21'$	10380 "	11,0	17,3
„	$42\frac{1}{2} - 43^{\circ}$	8400 "	12,5	19,0
„	$37\frac{1}{2}^{\circ}$	8900 "	15,0	20,1
Abhang } des Himalaya	$30\frac{3}{4} - 31^{\circ}$	15600 "	. . . .	. . . .
Abhang }	. . . . .	12200 "	16,2	20,6
„	$19 - 19\frac{1}{4}^{\circ}$	13900 "	20	22,2
Nevada de Merida . . .	$8^{\circ} 5'$	14000 "	22	22,6
von Tolima	$4^{\circ} 46'$	14380 "	. . . .	. . . .
„	$0^{\circ} 0'$	15320 "	22,5	22,8
Cordilleras v. Chili .	$14\frac{1}{2} - 18^{\circ}$ S.	$\left\{ \begin{array}{l} 15000 \\ 16500 \end{array} \right.$ "	. . . .	. . . .
Andes der Küste . . .	$41 - 44^{\circ}$	5630 "	. . . .	. . . .
Alpenstrasse	$53 - 54^{\circ}$	3480 "	4,3	8

Wie ungleich die Höhe der Schneegränze auf den Gebirgen verschiedener Gegenden ist, wird durch Fig. 263 (a. f. S.) anschaulich gemacht, in welcher die vorzüglichsten Höhen von Südamerika, Asien und Europa in Gruppen zusammengestellt sind. Die Lage der Schneegränze ist durch die hier beginnende hellere Schraffirung zu erkennen.

Quito und Caxam

tiefer als in

Der

region

in der

wäh

13,1

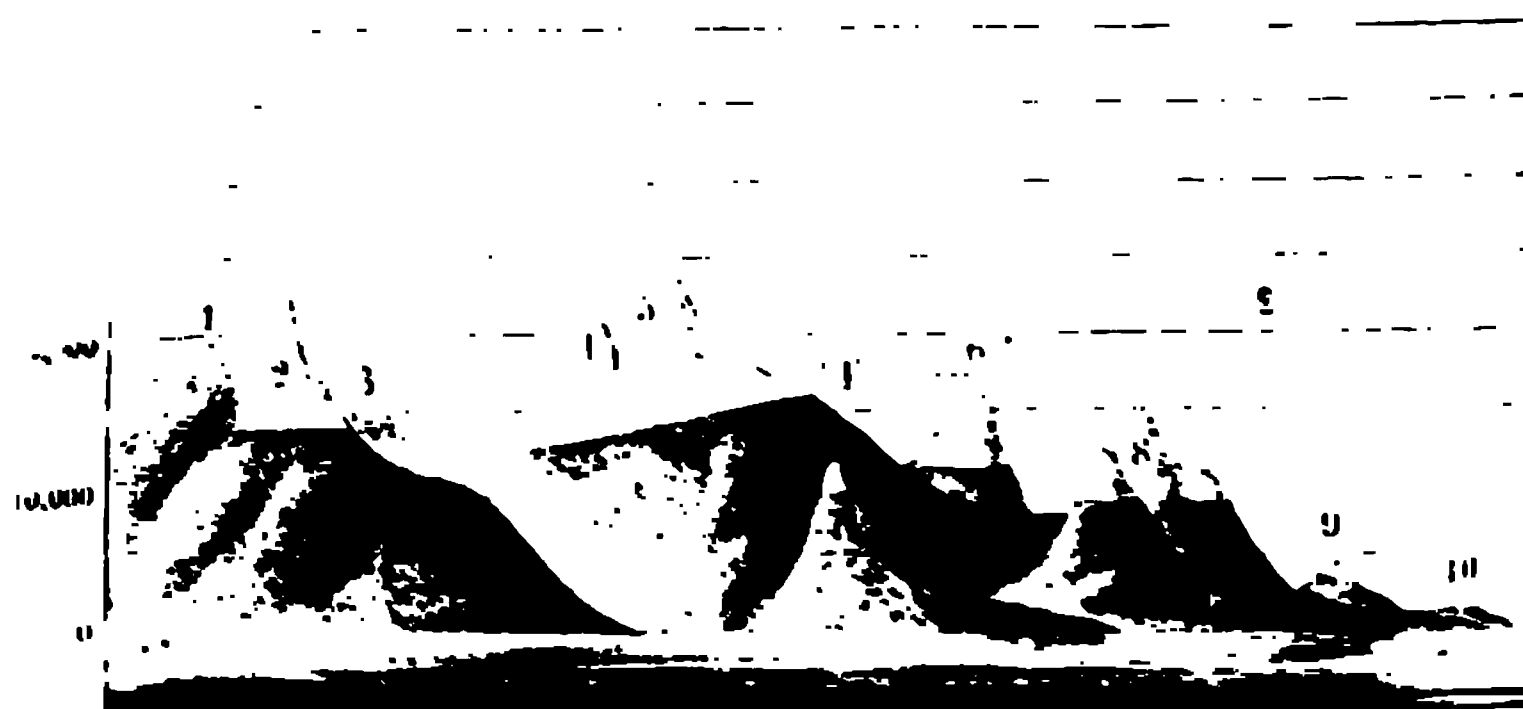
st

A

... fatalen Linien entsprechenden Höhen
 und am linken Rande der Figur beige
 stellt die südamerikanischen Gebirge
 Alimani, Nr. 2 der Aconcagua (ungefähr
 Amborazzo.
 Gebirge gehören die Gipfel Nr. 4 und 5 an
 den Schamalari, der letztere den Dhawal
 ke Seite dieser Gruppe entspricht dem südlichen
 nördlichen Abhänge des Gebirges, und man sieht
 die Schneeegränze auf dem nördlichen Abhänge höher
 südlichen.

stellt den Elbruz, den höchsten Gipfel des Kaukasus

Fig. 263.



Die übrigen Gipfel in unserer Figur entsprechen europäisch
 birgen, und zwar Nr. 7 den Pyrenäen, Nr. 8 den Alpen, Nr.
 Sulitelma in Norwegen (67° nordl. Breite), Nr. 10 den Berg
 Insel Magerö, deren nördlichste Spitze das Nordcap bildet.

Man glaubte früher, dass sich die Gränze des ewigen Schnee
 in solchen Regionen finden müsste, wo die mittlere Jahrestemp
 0° C. ist. Wenn es so wäre, so müssten alle Länder, deren u
 Jahrestemperatur unter Null ist, beständig mit Schnee bedeck
 während wir doch z. B. wissen, dass selbst zu Jakutzk, bei eine
 deren Jahrestemperatur von — 8,25° C. z. B. Cerealien gebaut wer

Die Gränze, bis zu welcher selbst im Sommer der Schnee nicht
 schmilzt, kann als eine Folge des Wärmes aus der mittleren Jahres
 natur eines Ortes angesehen werden, so hängt nicht sowohl v
 mittleren Jahreswärmegrad als vielmehr von der Vertheilung der Wär
 die verschiedenen Jahreszeiten aus.

In Jakutzk ist die mittlere Temperatur des heissesten Monats
 18,5° C., was die Wärme ausreicht, um den Schnee wegschmelzen, der
 aus der kalten Jahreszeit zurückbleibt. Wenn zu Jakutzk bei unverä
 mittlerer Jahrestemperatur von — 8,25° C. die Wärme so vertheil

Die nur zwischen 0° C. und -16° C. schwankte, so würde der Schnee liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegränze kann also an Orten, welche sehr excessives Klima haben, sehr niedrig sein; in solchen Gegenden, für welche die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer ist, wird die mittlere Jahrestemperatur an der Gränze des Schnees höher sein. Da nun zwischen den Wendekreisen die Abweichungen der Temperatur weit geringer sind als in den gemässigten Breiten und in den Polargegenden, so wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegränze in den Tropen weit höher sein als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das Jahr hindurch 0° C. betrüge, so könnte der Schnee, welcher hier unmöglich wegschmelzen, und man sieht leicht ein, dass, wenn die Temperatur eines Ortes um nur sehr wenige Grade schwankt, die mittlere Temperatur über 0° C. sein muss, damit der gefallene Schnee vollkommen schmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es ist daher leicht zu begreifen, dass in den Breiten, in denen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegränze über Null ist. In den Tropen ist die mittlere Lufttemperatur der Schneegränze 20° C., während sie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade 0° C. ist; in Sibirien ist sie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegränze vorzugsweise von der Temperatur des heissesten Monats abhängt, so muss die Höhe der Schneegränze in verschiedenen Breiten, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich ist, verschieden sein, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich ist, wenn die eine Gegend ein Küstenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegränze für ein Küstenklima tiefer als für ein Continentalklima. So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 70. Breite fast ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island ist aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegränze bedeutend (2000 Fuss) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, desto heisser muss es im Sommer sein, um ihn ganz wegzuschmelzen; da nun an den Küsten mehr Schnee fällt als im Inneren der grossen Continente, wo die Luft weit trockener ist, so ist darin ein neuer Grund zu suchen, warum an den Küsten die Schneegränze verhältnissmässig tiefer liegt als im Inneren des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukasus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur sowohl als auch die mittlere Sommerwärme am Fusse der Pyrenäen höher als am Fusse des Kaukasus, und doch liegt die Schneegränze am Kaukasus um 2000 Fuss höher als in den Pyrenäen, weil dort weit weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erscheint es auch, dass die Schneegränze auf der

nördlichen Abdachung des Himalaya um mehr als 3000 Fuss höher als am südlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn denkt, dass gerade die über dem indischen Ocean mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, an den südlichen Abhang des riesenhaften Gebirges schlagend, dort ungeheure Massen von Regen in den niederen Schnee in den höheren Regionen absetzt, während aus der Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herausfällt; ausserdem aber schliesst sich an die nördliche Abdachung die hohe Ebene von Tibet an, während sich das Gebirge auf der südlichen Seite rasch bis zum Spiegel des Meeres herabsenkt.

Das Tafelland von Tibet besteht eigentlich aus mehreren Gebirgsketten getrennten Hochebenen von ausserordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturschwankungen ungemein gross sind: felsigen und sandigen Hochebenen sich im Sommer durch die Action der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, tragen sie viel zur Verminderung der Schneegränze bei.

Ein ähnlicher Unterschied zeigt sich zwischen den östlichen und westlichen Cordilleras von Chili. Nach den Messungen von Ponce de Leon ist die Schneegränze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch höher als unter dem Aequator selbst, was offenbar nur von dem Einflusse der Hochebenen herrühren kann.

Die Gränze des Schnees steigt und sinkt mit den verschiedenen Jahreszeiten; diese Schwankung ist in der heissen Zone Amerikas unbedeutend, sie beträgt, nach Humboldt, nur 250 bis 350 Fuss; darf jedoch die Gränze des Schnees nicht mit den Gränzen verwechselt werden, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch liegen bleibt. In den mexicanischen Gebirgen liegen die Gränzen, zwischen welchen die Schneegränze auf- und niedersteigt, schon weit auseinander, nämlich um 2000 Fuss; dieser Unterschied ist zu begreifen, wenn man bedenkt, dass die mittlere Temperatur der wärmsten Monate in Mexico um 5° C., in Quito aber nur 1° mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kältesten Monate.

180 Die Gletscher. Da der auf den Schneefeldern fallende Schnee nur theilweise wegschmelzen kann, da also jeder frisch fallende Schnee noch alte Schneemassen vorfindet, so muss hier im Laufe der Zeit eine ungeheure Anhäufung von Schnee und Eis stattfinden, und dies vorzugsweise in den über der Schneegränze liegenden thalartigen förmigen Hochthälern der Fall sein, in welchen der Wind den Schnee zusammenweht und in welche er von den steileren sie umgebenden schützenden Bergkämmen und Gipfeln als Lawinen herabstürzt.

Da nun aber eine solche Anhäufung von Schnee und Eis nicht Unendliche fortgehen kann, so muss irgendwie eine Ausgleichung stattfinden, und diese Ausgleichung wird durch die Gletscher vermittelt.

Wenn nämlich die Anhäufung des Schnees, welcher, wie wir

nen werden, eine allmälige Umwandlung in körniges Eis erfährt, bis einer gewissen Gränze fortgeschritten ist, so kann sich die Masse auf einer geneigten Fläche, auf welcher sie liegt, nicht mehr erhalten, sie stösst theils vermöge ihres eigenen Gewichtes, theils in Folge des Druckes, den höher gelegene Massen auf sie ausüben, auf der schiefen Ebene herab, und bildet einen sehr langsam fliessenden Eisstrom bildend, der sich bis in wärmere Gegenden herabsenkt, wo dann die Schmelzung stattfindet, zu welcher Wärme in der Höhe nicht ausreichte.

Ein solcher aus der Region des ewigen Schnees langsam thalabwärts bewegender Eisstrom wird nun ein Gletscher (glacier), in Tyrol Ferner genannt.

Der auf den Schneefeldern gefallene Schnee erleidet durch abwechselndes theilweises Aufthauen und Wiedergefrieren allmählig eine gänzliche Umänderung seines Aggregatzustandes. Das durch Schmelzen gebildete Wasser dringt in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Schneekryställchen ein und füllt sie abwechselnd mit Luftblasen aus; der wiederholte Frost verwandelt diesen mit Wasser getränkten Schnee in eine Art körnigen Eises, welche mit dem Namen Firn bezeichnet wird.

Durch eine mehrmalige, in Folge der Abwechselung von Sommer und Winter in grossem Maassstabe stattfindende Wiederholung des eben beschriebenen Processes wird die Schnee- und Firnmasse allmählig mehr und mehr in Eis verwandelt, welches, sich in die Thäler hinabsenkend, den Gletscher bildet. Jeder Winter häuft neue Schneemassen als Material zu fernerer Gletscherbildung in den Hochthälern an.

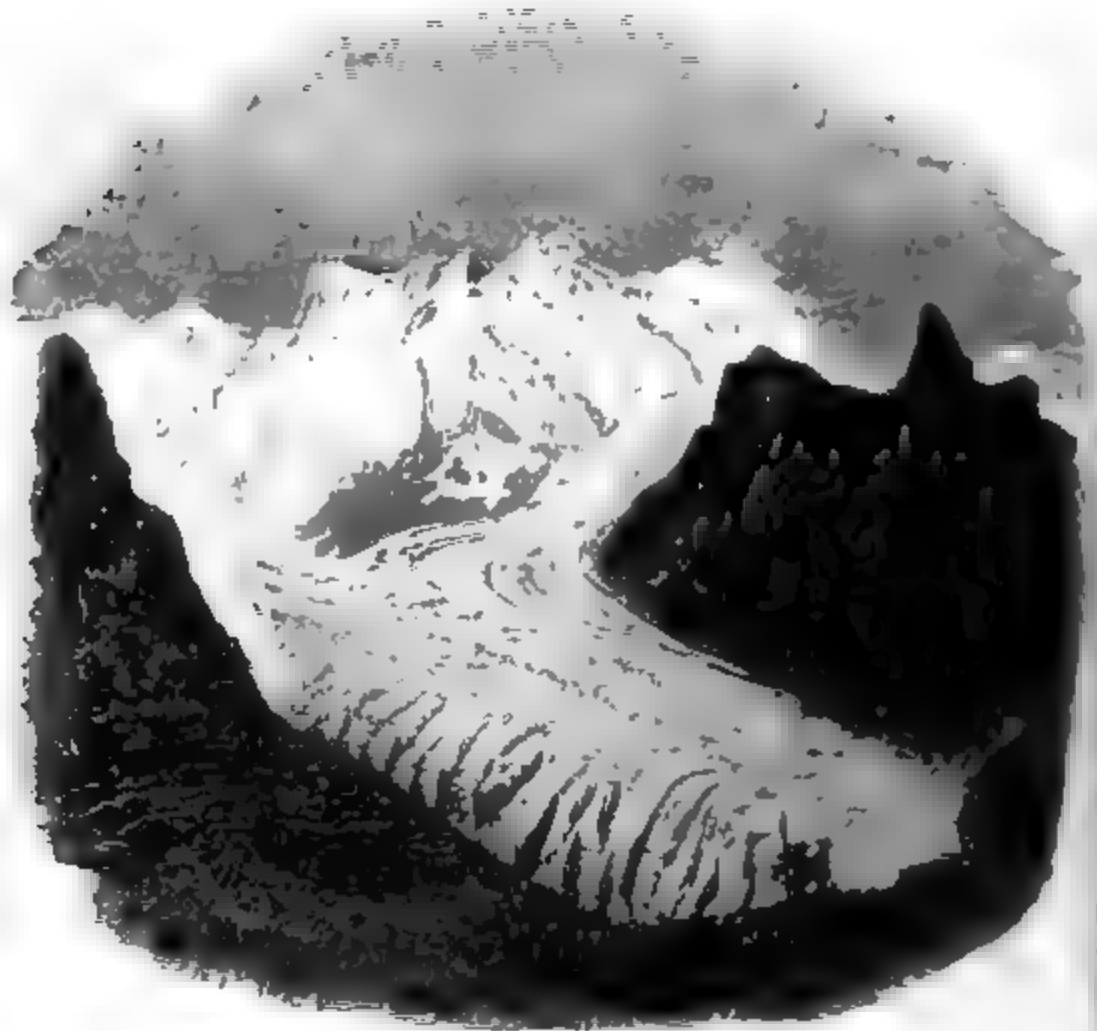
Das Gletschereis bildet keine compacte feste Masse, nicht ein con- tinuirliches Ganzes, wie das Eis auf der Oberfläche der Seen und Flüsse; es besteht vielmehr aus einem Conglomerat mehr oder minder grosser unregelmässig gestalteter Eiskörner, deren jedes seinen Nachbar in die Fugen einkeilen hilft. Die theils mit Wasser, theils mit Luft gefüllten Zwischenräume, welche die aneinanderstossenden Flächen benachbarter Gletscher- körner trennen, kann man sehr schön sichtbar machen, wenn man etwas Weingeist auf die eben gemachte Gränzfläche eines Stückes Gletschereis giesst. Durch den in die Fugen eindringenden Weingeist werden die Gletscherkörner gleichsam von einem gefärbten Netze ein- geschlossen. Am unteren Ende des Aletschgletschers fand Hugi die Gletscherkörner über 2 Zoll gross. Eine Stunde weiter aufwärts, am Mörlisee, waren sie nur stark nussgross und noch zwei Stunden weiter waren sie sehr viel kleiner und gingen alsbald in Firn über.

Die einzelnen Gletscherkörner scheinen bei ausserordentlicher Klarheit und Durchsichtigkeit vollkommen farblos zu sein; in grösseren Massen aber zeigt das Gletschereis die herrliche blaue Färbung, welche man in Gletscherspalten und Gletscherhöhlen zu bewundern Gelegenheit findet. Es ist dies offenbar das Blau des reinen Wassers, von welchem in der Vorrede die Rede war.

Bei seinem langsamen Herabgleiten verhält sich das Gletschereis

nicht etwa wie ein zusammenhängender fester Körper, sondern mehr wie eine zähe dickflüssige Masse, denn die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung ist keineswegs für den ganzen Querschnitt dieselbe: in der Mitte des Gletscherstromes ist die Bewegung weit rascher thalwärts als an den Seitenrändern, und dieser Umstand bewirkt im Verein mit mehreren anderen, dass sich im Gletschereis zahlreiche Klüfte und Spalten bilden, wie dies Fig. 264 zeigt, welche einen Theil des Zermattgletschers darstellt.

Fig. 264.

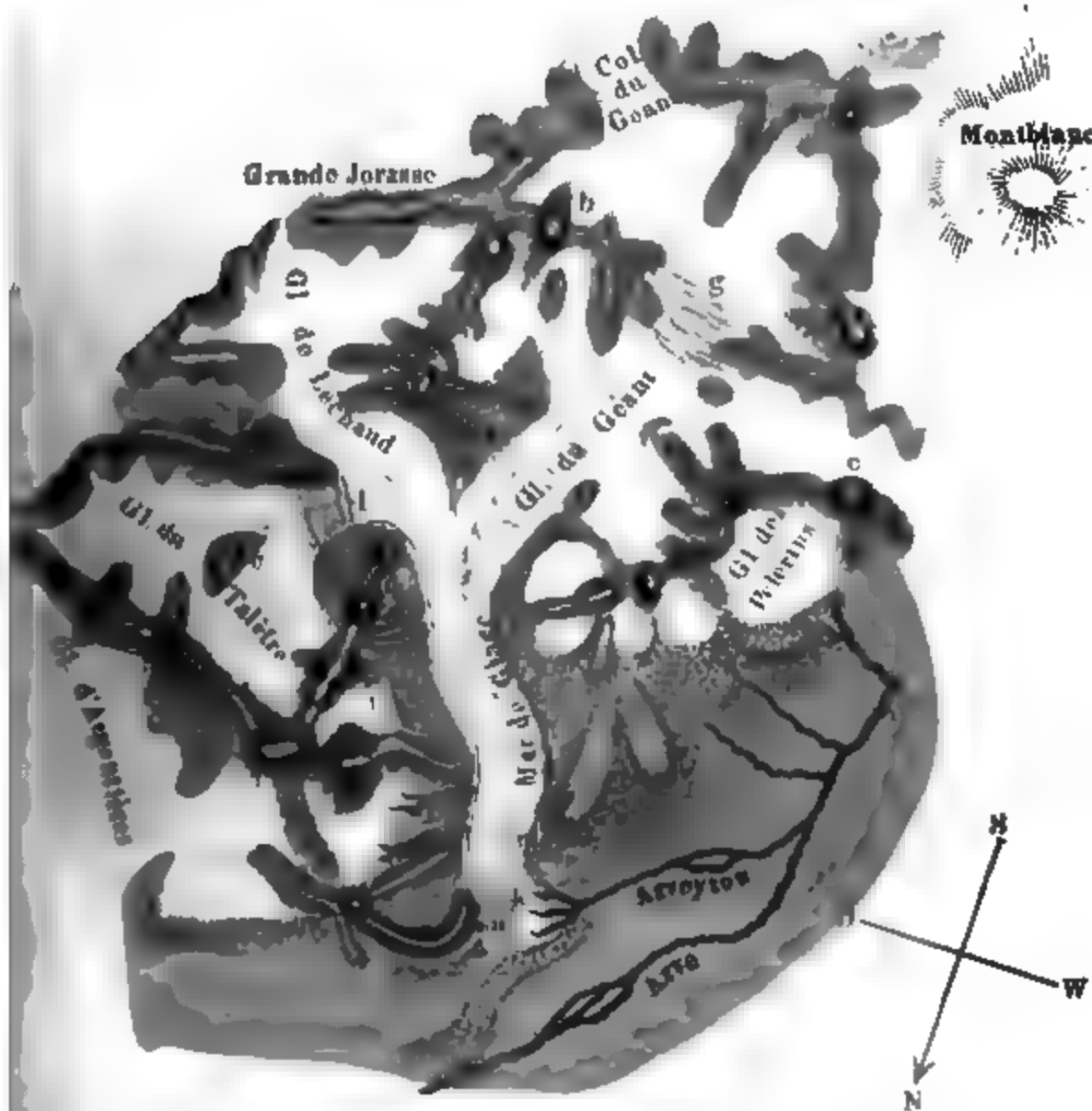


Das nach Schlagintweit's Karte des Monte Rosa copirte Bild des Lysegletschers, Fig. 278, S. 516, ist sehr geeignet, einige der Gletscherbildung bedingenden Umstände anschaulich zu machen. In der Tiefe ganz enge Lysenthal breitet sich in der Höhe zu einem weiten Kessel aus, welcher auf der Nordseite durch den Lyskamm, im Osten durch den Kamm der Vincentpyramide und im Westen durch einen ebenfalls parallel laufenden, fast eben so hohen Gebirgskamm eingeschlossen ist. Die ungeheure Schnee- und Firnmasse, welche sich in diesem hoch über der Schneegränze liegenden Thalkessel anhäuft, ist es nun, welche den Lysegletscher ernährt, von den Firnfeldern aus wie ein Strom herabfließt und sich in das unten enger werdende Lysenthal krümmt.

erwängt. Das untere Ende dieses Gletschers findet sich in einer Höhe von 6200 Fuss, die mittlere Höhe der Firnlinie, d. h. der Gegend, in welcher die Firnmasse in Gletschereis übergeht, beträgt ungefähr 9230 Fuss. Die mittlere Neigung der Firnmasse ist $13^{\circ} 20'$, die mittlere Neigung des Gletschers ist 18° .

Betrachten wir ferner das Mer de glace, das Eismeer, im Chamonithale, welches an Masse alle Gletscher der Schweiz übertrifft, obgleich an Länge vom Aletschgletscher übertroffen wird. Es sammelt sich,

Fig. 265.



man aus dem nach Forbes copirten Kärtchen, Fig. 265, ersieht, von den Schneefeldern der unmittelbar nördlich vom Montblanc gelegenen Gegend, von denen mehrere, wie grande Jorasse, die Aiguille verte (Fig. 265), die Aiguille du géant (b), Aiguille du midi (c) und die Aiguille du Dru (d) nur um 2000 bis 3000 Fuss von dem Montblanc erragt werden. Die Schneefelder, welche an den Abhängen und in den Thälern zwischen diesen Bergen liegen, sammeln sich in drei Hauptflüssen, den glacier du géant, glacier de Léchaud und glacier du Taletre, welche schliesslich zusammenfliessend das Eismeer bilden, welches

sich als ein 2600 bis 3000 Fuss breiter Eisstrom bis in das Thal von Chamouni hinauszieht, wo aus seinem unteren Ende ein starker Bach der Arveyron, hervorbricht, der sich in die Arve ergiesst. Der unterste Absturz des Eismeeres, welcher vom Thale von Chamouni sichtbar ist und eine gewaltige Eiscascade bildet, wird gewöhnlich glacier des Bois genannt (Helmholtz, populäre wissenschaftliche Vorträge, Braunschweig 1865).

Hugi schätzt die Mächtigkeit der Gletscher des Berner Oberlandes an ihrem Ausgange zu 30 bis 80 Fuss. Auf dem Unteraargletscher etwa eine Stunde oberhalb seines Ausganges, fand er eine bis auf Grund gehende Spalte von 120 Fuss Tiefe. Die mittlere Mächtigkeit

Fig. 266.



Gletscher jener Gegend beträgt nach Hugi's Messungen 80 bis 100 Fuss die höheren, weite Thäler ausfüllenden Firne können im Mittel 120 bis 180 Fuss dick angenommen werden.

Die Mächtigkeit des Mer de glace und seiner Zuflüsse ist jedoch viel bedeutender. Am Ende einer verticalen Felswand des Tacul schließt sich der Rand des glacier du géant mit einer senkrechten Wand von 140 Fuss Höhe hervor. Etwas unterhalb der Vereinigungsstelle der drei Gletscher sondirte Tyndall in einem moulin, d. h. in einer Höhle durch welche die oberflächlichen Gletscherwasser in die Tiefe strömen bis zu 160 Fuss Tiefe, und die Führer behaupteten, in einer ähnlichen Oeffnung einmal bis zu 350 Fuss sondirt zu haben. Die Bodengestalt lässt aber eine noch viel bedeutendere Mächtigkeit des Eises an den Stellen vermuthen.

Von der Mächtigkeit der Eismassen der grösseren Gletscher giebt die Ansicht, Fig. 266, vom unteren Ende des gewaltigen Gorner-tschers bei Zermatt ein anschauliches Bild.

Regelation. Auf den ersten Anblick scheint es fast unglaublich, 181 das sonst so spröde Eis in den Gletschern wie eine dickflüssige tanz, etwa wie Theer oder dicker Thonbrei sich bewegen soll, dass len Krümmungen der Thäler folgt, in welchen sich der Gletscher bsenkt, und sich durch etwaige Verengungen hindurchzwängen lässt, eine plastische Substanz. Dass das Gletschereis in der That keine ische Masse, dass es wirklich spröde ist, geht schon aus der Bildung Spalten und aus der später noch zu besprechenden Zerklüftung her- welche die Gletscher an verschiedenen Stellen zeigen.

Die Lösung dieser scheinbaren Widersprüche ergiebt sich theilweise dem Umstand, dass das Gletschereis eine aus einzelnen Eiskörnern amengesetzte Masse ist, alsdann aber spielt die unter dem Namen **Regelation** bekannte Eigenthümlichkeit des Eises eine wesentliche in der Erklärung der Gletscherphänomene.

Wenn man zwei etwas geebnete Eisstücke, welche schon im Schmel- begriffen sind, gegen einander presst, so werden sie alsbald ein zu- hängendes Eisstück bilden, und zwar werden sie um so stärker haften, je stärker sie zusammengedrückt wurden. Die Er- gung findet selbst in einer über 0° erwärmten Umgebung Statt und der Druck der Hände genügt, um die Erscheinung zu zeigen.

Die beiden Eisstücke sind in Folge des Druckes offenbar zusam- gefroren, weshalb auch Faraday, welcher das eben besprochene en entdeckte, es mit dem Namen der Regelation bezeichnete.

Folge der Regelation wird der schon bis zum Schmelzpunkt er- weichte Schnee durch den Druck der Hände zu einem festen Schneeball nigt. Sehr kalter Schnee bildet ein trockenes loses Pulver, welches mit der Hand nicht zu einem festen Ball zusammenpressen lässt.

Die Erklärung der Regelation ergiebt sich aus dem in §. 297 des buchs der Physik (7. Aufl. II. Bd. S. 926) besprochenen Umstand, der Gefrierpunkt des Wassers unter hohem Druck erniedrigt wird.

Die beiden einander zugekehrten Flächen der zusammengepressten tücke berühren sich, wenn sie auch noch so gut geebnet waren, doch t ihrer ganzen Ausdehnung nach, sondern nur in einzelnen Punkten. den sich berührenden Stellen wird nun in Folge des Druckes Eis zur melzung gebracht, das gebildete Wasser wird aber etwas kälter sein 0° und deshalb, in die leeren Zwischenräume eindringend, in denen em Druck entzogen ist, alsbald wieder gefrieren und so das Zusam- haften der beiden Eisstücke bewirken.

Die Regelation spielt nun aber, wie sich leicht einsehen lässt, auch dem Uebergang des Schnees in Gletschereis eine wesentliche Rolle. durch abwechselndes Schmelzen und Gefrieren des Schnees gebildeten

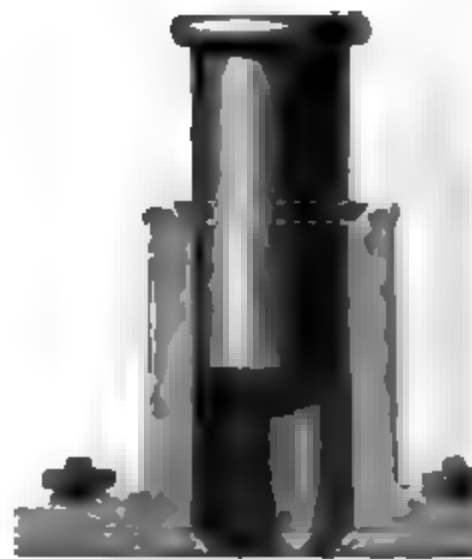
Firnkörner haben den Druck der auf ihnen lastenden Schnee- und Eismassen auszuhalten, wodurch ein festeres Aneinanderhaften der einzelnen Firnkörner bedingt und nach und nach der Uebergang der feineren Firnkörner in grössere, fester zusammenhängende Gletscherkörner bewirkt.

Die Verwandlung von Schnee in Eis, welche sich in den Gletschern unter verhältnissmässig geringerem Druck in längeren Zeiträumen zieht, lässt sich mit einem von Helmholtz erdachten Apparate in Anwendung stärkeren Druckes in kurzer Zeit ausführen. An dem hohlen, oben und unten offenen Cylinder *A* von Gusseisen, von welcher Fig. 267 eine äussere Ansicht, Fig. 268 aber den Durchschnitt

Fig. 267.



Fig. 268.



endet unten mit einem breiteren eisernen Ring, an welchen von unten eine eiserne Platte angeschraubt werden kann, welche entweder in der Mitte conisch durchbohrt ist, wie Fig. 268 zeigt, oder welche ganz geschlossen ist, so dass sie den hohlen Cylinder *A* von unten her vollständig schliesst. In die Höhlung des Cylinders *A* kann von oben her ein genau passender Stempel *C* eingeschoben werden, wie man in beiden Figuren sieht.

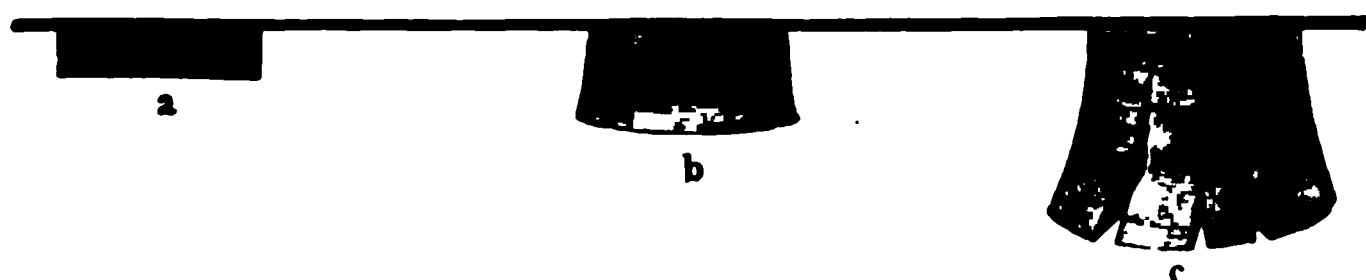
Zunächst werde nun eine massive Platte *B* an den hohlen Cylinder angeschraubt, die Höhlung des auf 0° erkalteten Cylinders *A* mit Schnee vollgestopft, der cylindrische Stempel *C* aufgesetzt und endlich mit einer hydraulischen Presse hineingetrieben. Der lockere Schnee wird nun unter einem Druck, welcher leicht bis auf 50 Atmosphären gesteigert werden kann, auf ein kleines Volumen zusammengepresst. Man entfernt nun mit dem Drucke nach, nimmt den Stempel heraus, füllt den

heil des Cylinders abermals mit Schnee aus, presst wieder und fährt so fort, bis die ganze Höhlung des Cylinders *A* mit einer Masse angefüllt ist, welche dem Druck nicht mehr nachgiebt. — Wenn man nun die Bodenplatte *BB* abschraubt und den gepressten Schnee herausnimmt, so sieht man, dass er zu einem ganz harten, scharfkantigen und trübe durchscheinenden Eiscylinder geworden ist.

Während die in *A* enthaltene Schnee- und Eismasse durch kräftiges Antreiben des Stempels *C* comprimirt wird, sieht man aus der feinen Lücke zwischen der Bodenplatte *BB* und der am Cylinder *A* unten anbrachten Scheibe äusserst zarte Eisblättchen nach allen Seiten in horizontaler Richtung herauswachsen. Es rührt dies von dem durch Schmelzung des gepressten Eises gebildeten, aber unter 0° erkalteten Wasser her, welches sogleich wieder erstarrt, sobald es dem starken Druck entzogen ist, welchen es im Cylinder auszuhalten hatte.

Schraubt man an die Stelle der massiven Eisenplatte *BB*, welche dem eben beschriebenen Versuche diente, eine Platte mit conisch sich erweiternder Oeffnung, wie man in Fig. 268 sieht, unter dem hohlen Cylinder *AA* an, setzt man dann den durch Compression des Schnees erzeugten Eiscylinder in die Höhlung von *AA* ein und treibt man endlich den Stempel wieder mittelst der hydraulischen Presse an, so sieht man allmählig einen soliden Eiscylinder von dem Durchmesser der unteren Oeffnung austreten. Da aber in der Mitte der Oeffnung das Eis schneller abgedrängt als an den Rändern, so wölbt sich die freie Endfläche des hervorgedrückten Eiscylinders, sein unteres Ende verdickt sich, so dass es nicht mehr durch die Oeffnung zurückgezogen werden kann, und spaltet sich endlich auf. Fig. 269 *a*, *b* und *c* zeigt die Reihe von Formen, die auf dieser Weise zu Stande kommen.

Fig. 269.



Setzt man einen durch Compression von Schnee gebildeten Eiscylinder, Fig. 270, zwischen zwei Holzplatten in die hydraulische Presse, so verändert beim Antreiben derselben der Eiscylinder unter fortwährendem Knarren und Knacken allmählig seine Form, er wird immer niedriger, dafür aber dicker und erst, wenn derselbe schon in eine ziemlich dicke Kreisscheibe, Fig. 271, verwandelt worden ist, fängt er an, am Rande zu reißen und Spalten zu bilden, gleichsam Gletscherspalten im Kleinen.

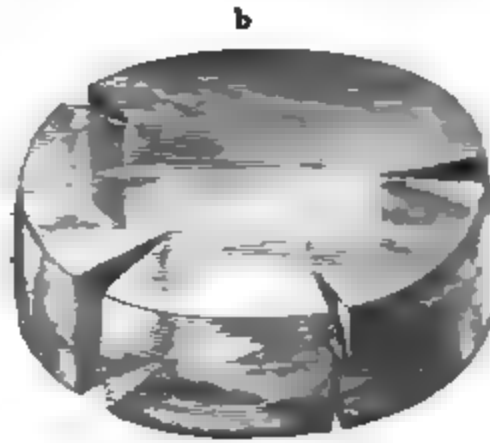
Ganz anders verhält sich ein Eiscylinder, den man aus einem der gefrorenen Oberfläche eines Flusses oder Sees entnommenen Stücke Eis herausgeschnitten hat, dass die beiden natürlichen Oberflächen seine Endflächen bilden. Durch den Druck der Presse wird das Eisstück zer-

brochen, jeder sich bildende Riss geht durch seine ganze Dicke hindurch und der ganze Block zerfällt in einen Haufen von Trümmern, welche bei fernerm Antreiben der Presse theilweise allerdings wieder durch Regeneration vereinigt werden.

Fig. 270.



Fig. 271.



In dem letzteren Falle haben wir es mit einem krystallisirten Körper, im ersteren aber mit einer Eismasse von körniger Structur zu thun, deren einzelne Körnchen, durch feine Zwischenräume getrennt, leicht gegenseitig verschieben lassen, um sich dann in veränderter gegenseitiger Stellung wieder durch Druck vereinigen zu lassen. Da auch Gletschereis aus einzelnen, wenn auch grösseren Körnern besteht, so klärt sich aus diesem Umstand, dass es sich unter einem starken Druck wie ein plastischer Körper verhält und sich wie ein zähflüssiger Körper bewegen kann, während es sich gegen Zug und Spannung im höchsten Grade spröde zeigt.

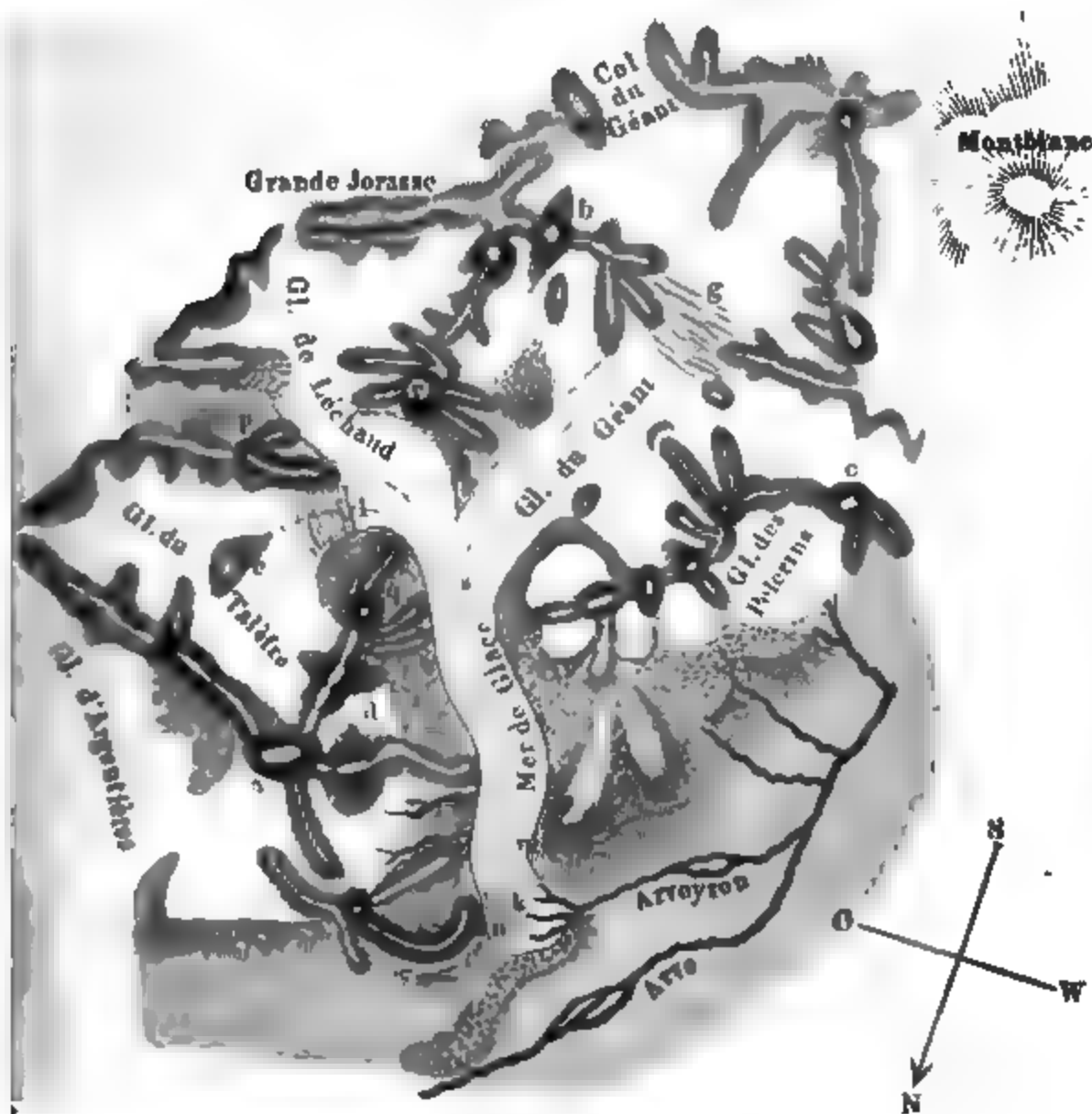
182 **Die Gletscherbewegung.** Auf den ersten Anblick erscheint die Gletscher als eine völlig bewegungslose Masse, starr wie die sie gebenden Felsen; eine etwas genauere Beobachtung zeigt aber als eine thalabwärts gerichtete Bewegung.

Von der Wengernalp aus sieht man eine gewaltige Gletscher, welche von dem Sattel zwischen Mönch und Jungfrau nach Norden abgedacht ist und sich bis zu einer steilen Felswand vorschiebt, wo fast senkrecht gegen das Trümleten Thal abfällt. Hier erscheint der Gletscher durch eine verticale Eiswand begränzt, welche gleich die Fortsetzung jener Felswand bildet. Durch das langsame Vorschreiten des Gletschers wird nun bald da bald dort eine Partie Eismasse über den Rand der Felswand hinausgeschoben und stürzt dann von der hinteren Gletschermasse sich trennend, unter furchtbarem Donner, im Ansehen einem Wasserfalle ähnlich, in die Tiefe hinab. heissen Sommertagen, wo das Voranschreiten der Gletscher am schnellsten ist, kann man hier oft 3 bis 4 solcher Lawinestürze in der Stunde beobachten.

Im Jahre 1788 liess Saussure beim Herabsteigen an den Felsen an der Seite der Eiscascade des glacier du géant (g, Fig. 272) eine hölzerne Leiter zurück. Im Jahre 1832, also 44 Jahre später, wurden Reststücke dieser Leiter bei s gefunden, woraus sich ergibt, dass jene Teile des Gletschers in jedem Jahre durchschnittlich um 375 Fuss abwärts gewandert waren.

Im Jahre 1836 fiel ein Führer beim Uebergang nach dem aus der Mitte des glacier de Talèfre hervorragenden Felsens e, Fig. 272, welcher

Fig. 272.



über dem Namen des „jardin“ bekannt ist, in eine Gletscherspalte, und gelang ihm nur unter Zurücklassung seines Tornisters, wieder herauszukommen. Dieser Tornister wurde aber im Jahre 1846 in der Nähe von l, 4300 Fuss weiter abwärts, wieder aufgefunden, er hatte also mit dem Gletscher durchschnittlich einen Weg von 430 Fuss im Jahre zurückgelegt.

Im Jahre 1827 hatte sich Hugli auf der Mittelmoräne des Unterregletschers eine Hütte gebaut, um dort Beobachtungen anzustellen.

Im Jahre 1841 stand sie 4884 Fuss tiefer, sie hatte also in jedem J einen Weg von durchschnittlich 349 Fuss zurückgelegt.

Um sich von dem Fortrücken der Gletscher zu überzeugen und Geschwindigkeit zu messen, bedarf es übrigens nicht so langer Periode mit genaueren Messinstrumenten kann man sie schon im Laufe einzigen Tages wahrnehmen und messen. Solche Messungen haben ergeben, dass die Mitte des Eismeeres bei Chamouni im Sommer täglich um 20 Zoll im Tage fortschreitet, eine Geschwindigkeit, welche von der unteren Eiscascade hin auf 35 Zoll steigt.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Gletscher in das Thal hinschieben, hängt natürlich von localen Verhältnissen, z. B. von der Neigung der Thalsohle, von der Mächtigkeit der Gletscher- und Firnsmasse ab. Auch schwankt die Grösse der Gletscherbewegung mit der Jahreszeit: sie ist grösser im Sommer, wenn durch Wegschmelzen der Basis und durch das Wasser, welches die feineren Klüfte und Spalten ausfüllt, die Beweglichkeit der Gletschermasse erhöht wird; sie ist dagegen am geringsten im Winter, wenn das Wasser im Innern des Gletschers theilweise gefroren und das Wegschmelzen am Boden auf ein Minimum reducirt ist.

Bei der Langsamkeit der Gletscherbewegung dauert es sehr lange, bis ein Theil des in der Höhe gefallenen Schnees in Eis verwandelt wird, welches am unteren Ende des Gletschers ankommt. Für manche Gletscher dauert dies 80, 100 und noch mehrere Jahre. Es dauert 120 Jahre, bis das Eis des Col du géant das untere Ende des Eismeeres erreicht.

So lange die Thalsohle, auf welche der Gletscher langsam hinabschiebt, eine ziemlich gleichförmige Neigung beibehält, ist auch die Oberfläche des Gletschers, die Spalten abgerechnet, eine ziemlich eben. Dies z. B. der Zermattgletscher in seinen oberen Parthien, Fig. 271, und das mer de glace im Chamounithal in der Gegend des Mont Blanc, Fig. 273, erläutern.

Auf dem Kartchen, Fig. 272 (a. S. 509), welches das untere Ende des Mont Blanc darstellt, ist der Montanvert mit *m* bezeichnet. Der Standpunkt, von welchem aus die Ansicht, Fig. 273, aufgenommen ist, liegt dem Montanvert gegenüber auf dem rechten Ufer des Gletschers.

Wenn aber grössere Unebenheiten in der Thalsohle vorkommen, so wird natürlich, wenn die sanfte Neigung des Gletscherbodens an einer bestimmten Stelle plötzlich abzufallen beginnt, wie dies z. B. am glacier du géant bei *g*, Fig. 272, auf dem glacier du Talèfre bei *a*, auf dem mer de glace bei *b* der Fall ist, so muss nun eine starke Zerküftung des Eises eintreten. Bei dem rascheren Voranschreiten unteren Gletschers muss an einer solchen Stelle ein Abbrechen des Eismasses stattfinden, welches bei vorübergegangenen nachstürzen und Chaos von Eisschutten und Eisschuttungen, wie man es Fig. 274, welche das Montanvert darstellt, am *g* von der in Fig. 272 mit *g* bezeichneten, also der Namen des Chayon bekannten Stelle aus-

Solche stark zerklüftete Stellen der Gletscher werden Eiscascaden genannt.

Im Hintergrunde der Fig. 274 erblickt man den Bossonglletscher.

Die untere Gränze des Gletschers wird sich natürlich da finden, wo so viel Eis an der vorderen Fläche wegschmilzt, als die Masse

Fig. 273.



Gletschers in gleicher Zeit vorrückt. In wärmeren Jahren wird sich halb der Gletscher etwas zurückziehen, und wenn mehrere kühlere schneereiche Jahre auf einander folgen, so senkt sich der Gletscher tiefer in das Thal herab.

Die Gletscher müssen sich demnach in den Thälern der Hochgebirge unter die Gränze des ewigen Schnees herabziehen, wie dies auch in Fig. 263 bei Nr. 8 angedeutet ist. So reicht z. B. der untere Grindelwaldgletscher, welcher überhaupt unter allen Alpengletschern am weitesten herabsteigt, bis zu einer Höhe von 3065 Fuss über den Meeresspiegel herunter, während die Schneegränze in jenen Gegenden ungefähr 10000 Fuss hoch ist.

Die Gletscher senken sich also in eine Region herab, welche schon eine üppige Vegetation zeigen kann, und so kommt es, dass man nicht

seltener die unteren Parthien der Gletscher von Getreidefeldern und von Baumwuchs umgeben findet.

Fig. 274.



- 183 **Moränen und Gletscherschliffe.** Von den Thalwänden, von denen die Gletscherströme sich hinabsenken, fällt fortwährend Schutt, bald fallen kleinere, bald grössere Gesteinstrümmer auf die Fläche der Gletscher herab, welche theils durch Verwitterung von Felsmasse losgelöst, theils durch Gefrieren des Wassers in ihren Spalten abgesprengt worden sind und die vorzugsweise auf dem Rande der Gletscher liegen bleiben. Diese Erd- und Gesteinmassen, welche der Fläche des Gletschers meist ein schmutziges Ansehen geben, wandern mit der ganzen Gletschermasse thalabwärts bis zum unteren Gletscherende, welches in Folge dessen von mehr oder minder mächtigen Lawenwällen umgeben erscheint, welche unter dem Namen der Moränen bekannt sind. Die an der Seite des Gletschers abgesetzten Trümmervälle werden Seitenmoränen genannt.

Die von dem Gletscher selbst angehäuften Gesteinmassen an der Frontmoränen oder auch Stosswall genannt. Wenn die Anzahl

tschers in der Art zunimmt, dass sein unteres Ende mehr und ordringt, so wird die ganze Frontmoräne mit unwiderstehlicher von der Eismasse fortgeschoben. Wenn dann aber wieder einige folgen, in welchen der Gletscher zurückgeht, d. h. in welchen das ziehen des vorderen Endes rascher erfolgt als das Vordringen der so zieht sich das Gletscherende allmähig von dem Steinwalle zu-

Fig. 275.



ler so die Gränze bezeichnet, bis zu welcher früher der Gletscher lagungen war. Ein schönes Beispiel solcher alter Frontmoränen der Rhonegletscher, Fig. 275. Man sieht hier deutlich, wie tere Gletscherende unmittelbar von einem Trümmerwall umgeben. Inußerdem sieht man aber einige noch alte Frontmoränen, welche iger Entfernung vom Gletscher denselben concentrisch umgeben. Wenn zwei Gletscherströme zusammenstossen, um sich zu einem zu vereinigen, wie z. B. der Glacier de Lechaud und der Glacier unt, Fig. 272, welche zusammen das Mer de glace bilden, so stösst ke Ufer des einen mit dem rechten des anderen zusammen und so en die Gesteinsmassen, welche auf den einander zugewendeten der beiden Gletscher liegen, auf die Mitte des durch ihre Ver-ig gebildeten, auf dessen Mitte sie dann weiter abwärts wandern. cher, auf der Oberfläche des Gletschers parallel mit seinen Ufern rtziehender Steinwall wird eine Mittelmoräne oder Gaffer- genannt. Auf dem Kärtchen, Fig. 272, sieht man, wie auf dem r fünf solcher Gafferlinien, deren Ursprung man leicht auffinden parallel neben einander herziehen. Auch auf der Karte des Lys- hers, Fig. 278, lassen sich mehrere solcher Mittelmoränen ver-

Fig. 276 stellt die mächtige Mittelmoräne des Unteraarglet- dar, welcher durch die Vereinigung zweier Gletscherströme gebildet on denen der eine von den Firnfeldern des Finsteraarhorns, der von denen des Schreckhorns herabkommt.

in anderes schönes Beispiel einer Mittelmoräne bietet der grosse h-gletscher, von welchem Fig. 277 (a. S. 515) eine Ansicht bietet.

Unter den zahllosen grösseren und kleineren Gesteinstrümmen, welche von dem Gletschereis getragen thalabwärts wandern und in Endmoränen angelüftet werden, kommen bisweilen auch solche von enormer Grösse vor, ja in alten Moränen hat man solche von der Grösse zweistöckiger Häuser gefunden.

In der Region des Firnes sind die Gufferlinien noch nicht über die Firnfläche erhoben, sobald sie hingegen die Firnfläche überschritten und den eigentlichen Gletscher erreicht haben, erheben sie sich über

Fig. 276.

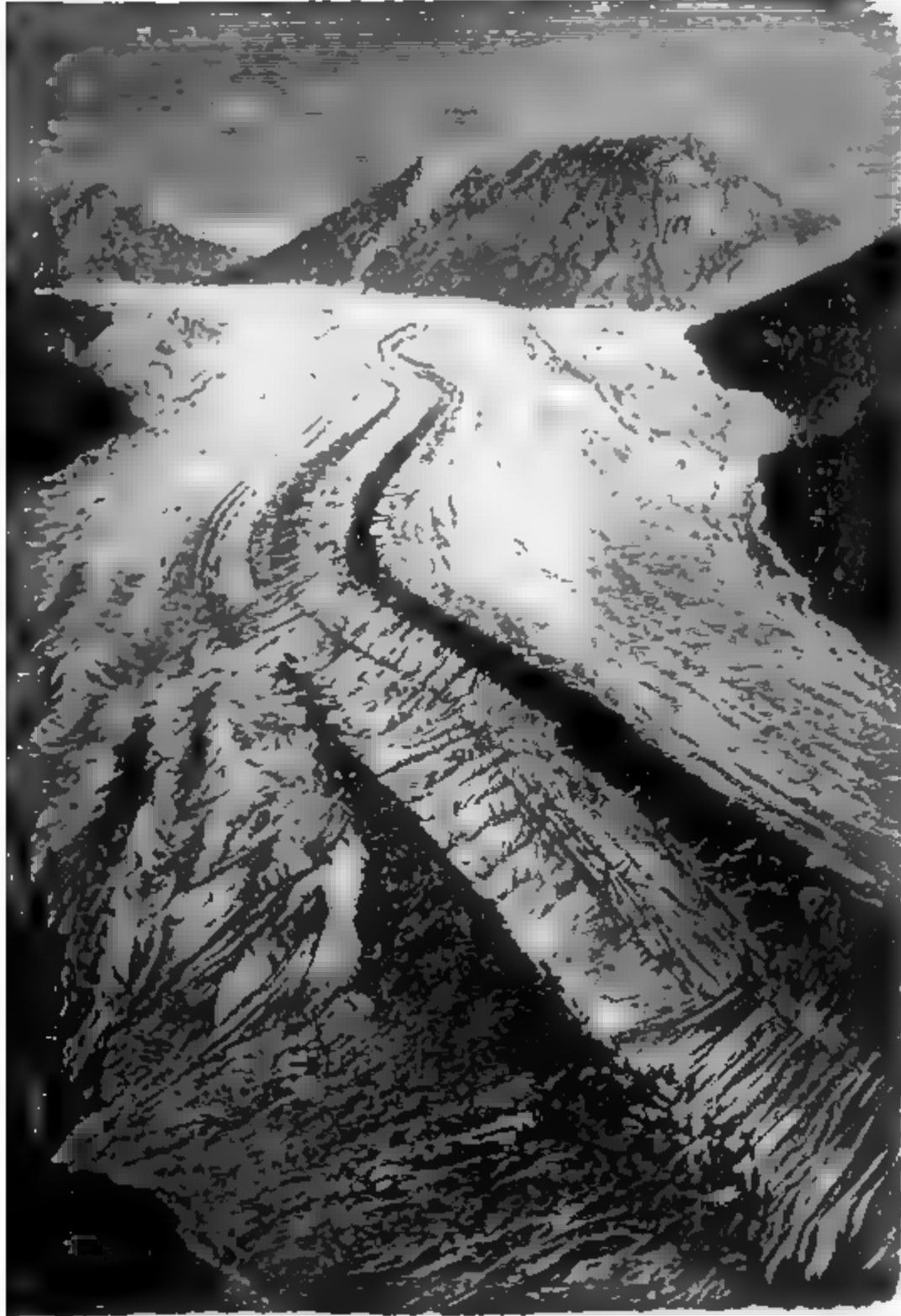


Niveau der übrigen Gletschermasse, weil sie das von ihnen bedeckte Eis vor den Sonnenstrahlen schützen, unter deren Einfluss das umliegende Eis rasch wegschmilzt. Wenn einzelne grössere Steinblöcke auf dem Eise liegen, so geht derselbe Process vor sich, es entstehen sogenannte Gletschertische, d. h. Steinblöcke, welche von einem Gletscher getragen werden, wie man deren in Fig. 276 mehrere sieht. Wenn der Eiskegel nach und nach zu weit abgeschmolzen ist, so fällt der Steinblock auf die Oberfläche des Gletschers herab.

Solche Steine, welche entweder durch Spalten hinabgefallen oder vom Boden des Gletschers auf die Oberfläche des Gletschers gleich eingetrocknet sind, werden allmählig über den Boden des Gletschers hinweggeführt, indem sie gleichzeitig durch die Last des Eises über ihnen (Fig. 277) auf den Boden angepresst werden. Die Steine und der Gletscher werden so hingschoben werden, und

hre gegenseitige Reibung zu einem feinen Staub zermalmt, welcher
 mer des aus dem unteren Ende des Gletschers hervorströmenden
 trübe und milchig macht. Die Felsen des Thalgrundes und der
 ände werden natürlich die Spuren dieser gewaltigen Reibung zeigen;

Fig. 277.



len Ecken und Kanten der Felsen werden abgestumpft und gerundet,
 von werden geebnet und fürmlich geschliffen und polirt, und da,
 lig einzelne lose Gesteinsstücke zwischen dem Gletschereis und den
 Felsen eingekeilt sind, werden durch das gewaltsame Fort-
 dieser Gesteinsfragmente in den seitlichen Felswänden Ritzen

und Streifen hervorgebracht, welche die Wirkung der Gletscher deutlich von der abrundenden und glättenden Wirkung des fließenden Wassers unterscheiden.

Fig. 278.

KARTE DES LYSGLETSCHERS



- 181 Die Gletscher verschiedener Gegenden.** Wir betrachten jetzt nur die Gletscher der Alpen, betrachtet, welche vorzugsweise untersucht worden sind. Sehr mächtige Gletscher finden sich in den Alpen, während die der Pyrenäen viel weniger ausgedehnt sind.

Alpen. Auch Norwegen hat bedeutende Gletscher aufzuweisen, obwohl die Gebirgsformation ihrer Bildung nicht so günstig ist als in Alpen.

Je weiter ein Gebirge von dem Aequator entfernt ist, desto tiefer senken sich die Gletscher herabsenken, weshalb sie in den Polargegenden sehr bedeutender Ausdehnung auftreten. Der zehnte Theil der Insel Grönland ist mit Gletschern bedeckt, und in Grönland sowohl wie in Spitzbergen reichen die Gletscher bis zum Meere hinab. Solche in das Meer abgeworfene Gletschermassen werden öfters durch mancherlei Ursachen losgelöst, und werden dann durch die Meeresströmungen als Eisberge weit von dem Orte ihrer Entstehung weggeführt.

Nur innerhalb der Polargegenden findet man in keinem anderen Theile der Erde eine solche Anhäufung von Gletschern, wie in West-Tibet. Das Mer de glace ungefähr $1\frac{1}{2}$ und der Aletsch-Gletscher nur 3 geographische Meilen (1 geogr. Meile = 22 842 par. Fuss) lang, kommen hier von den mächtigen über 24 000 par. Fuss hohen Gletscherströme herab, deren Länge 3 bis 8 geographische Meilen beträgt. Auch alle anderen Gletscherphänomene zeigen hier in riesigem Maassstab; so sind dort die Spalten im Eis von grosser Breite und furchtbarer Tiefe. Bei einem Versuch, die Dicke des Eises in einem dieser gähnenden Abgründe zu messen, erreichte die 1000 par. Fuss lange Leine den Boden nicht. Messungen an den Enden der Gletscher ergaben eine Dicke von 300 bis 400 Fuss; höher oben ist das Eis ebenfalls noch beträchtlicher. An der Oberfläche bilden sich Wasserläufe und Seen von 2500 bis 10 000 Fuss Länge, deren Wasser gewöhnlich mit einem lauten, brüllenden intermittirenden Geräusch in unterirdischen Höhlen oder „moulins“ verschwindet.

Der Hauptgletscher des Boltoro zeigt eine wunderbare Anzahl von Moränen, welche ihn streifenförmig in 15 Linien aus verschiedenen Gestein, wie grauem, gelbem, braunem, blauem und rothem, in verschiedenen Schattirungen überziehen, aber nur auf dem oberen Theile des Gletschers ganz getrennt von einander lagern, während sie am unteren Ende die ganze Oberfläche bedecken, so dass sie das Eis vollständig bedecken. In der Mitte dieser Moränen befindet sich ein Streifen von Eisblöcken, wie er auf anderen Gletschern noch nicht beobachtet worden ist. (Petermann's Mittheilungen 1863. S. 66.)

Nachdem was oben über die Bildung der Gletscher gesagt wurde, ist es klar, dass der Wechsel der Jahreszeiten für dieselbe wesentlich ist; Gletscher fehlen deshalb auch in den schneebedeckten Gebirgen der Tropen; in der Aequatorealzone von Südamerika kommen keine Gletscher vor, obgleich die Cordillere dort weit in die Region des ewigen Schnees vordringt. Nach den Beobachtungen von Philipp und Leybold kommen in Südamerika die Gletscher erst unter dem 35. Grad südlicher Breite am Descubezado da Maule und unter dem 36. Grade südlicher Breite am Nevado da Chillan vor. (Petermann's Mittheil. 1863. S. 255).

In ausgezeichnetster Weise ist das Gletscherphänomen in (erstermale von Haast genauer untersuchten Alpen der Süd-Neuseeland entwickelt. Zwischen dem 43. und dem 44. Gradlicher Breite schätzt Haast die Kammhöhe des Gebirges zu 90 während die einzelnen Gipfel sich zu einer Höhe von 10 000 bis Fuss erheben. Die Gränze des ewigen Schnees findet sich in jgend in einer Höhe von 7500 bis 7800 Fuss. Aus den Firwelche die kolossalen Schneepyramiden umgeben, entwickeln sich Gströme, welche im Verhältniss zu den Berghöhen viel bedeutenals die Gletscher der europäischen Alpen (ohne Zweifel wegen dten insularen Klimas von Neuseeland) und welche theilweise bisTiefe von 3760 und 3400 Fuss über dem Meeresspiegel herabste

Auffallend gross ist die Masse des Gletscherschlammes, viele der neuseeländischen Gletscherbäche mit sich führen. So das Wasser des von Gletscherbächen gespeisten 3 geographischlangen und 1 Meile breiten Tekapo-Sees nicht klar, wie das der Schweizer Seen, sondern so milchig trübe, dass es in einschöpft aussieht, als ob Milch in dem Glase gewesen und maddazu gegossen hätte. Nur nach Monate langem kalten und tWetter klärt sich das Wasser etwas.

183 Die Eiszeit. Abgesehen davon, dass im Sommer die Gletscherende sich zurückzieht, während es im Winter vordringt in eine mittlere Lage, um welche dasselbe im Laufe des Jahres schwach veränderliche, so dass oft längere Perioden hindurch der Gletscher vordringt um sich dann für längere Zeit wieder zurückzuziehen. In der That sind die meisten Gletscher des Berner Oberlandes im Winter begriffen. So hat sich z. B. der untere Grindelwaldgletscher seit Jahren so weit zurückgezogen, dass im Jahre 1865 ein bisher eisbedeckter Steinbruch frei wurde, in welchem man zwei im Jahre 1865 behauene Marmorblöcke vorfand, welche in den Garten des Museums in Bern gebracht und mit einer entsprechenden Inschrift versehen

Es lässt sich historisch nachweisen, dass die meisten Gletscher der Schweiz im Mittelalter eine viel geringere Ausdehnung hatten, über manche Pässe ein lebhafter Verkehr stattfand, welche gegenwärtig so vereist sind, dass sie höchstens von einzelnen Gemsjägern oder Reisenden besucht werden. Dagegen war in vorhistorischen Zeiten die Ausdehnung der Alpengletscher eine bei weitem bedeutendere, wie aus den vielfachen Spuren hervorgeht, welche die Gletscherthätigkeit jener Zeiten zurückgelassen hat.

So findet man in vielen Alpenthälern, namentlich aber im Aargau, an manchen Höhen über der Thalebene Felsen, welche deutliche Gletscherabdrücke zeigen. Der Weg von Meyringen nach der Grindel geht über Felsen, welche so glatt polirt sind, dass man Rinnen einhauen musste, um sie zu betreten und Pferde möglich zu machen, mit Sicherheit darüber

Weit entfernt von der gegenwärtigen Gletscherregion (z. B. zu Zürich) findet man mächtige alte Moränen, deren aus den Hochalpen stammendes Gneissgestein dem Boden fremd ist, auf welchem sie liegen. Ebenso findet man zahlreiche zum Theil kolossale Granitblöcke, sogenannte erratische Blöcke, über einen grossen Theil der ebenen Schweiz, bis zu dem Fuss des Jura, wo sie sich noch bis zu einer Höhe von 1000 Fuss über dem Spiegel des Neuchateller Sees finden.

Alle diese Thatsachen beweisen, dass sich die Gletscher der Mont-Cenis, des Monte Rosa, des Gotthard und der Berner Alpen damals durch das Thal der Arve, der Rhone, der Aare und des Rheines über die jetzigen Gränzen des Gletschergebietes erstreckten, und der nördliche Theil der heutigen Schweiz vollständig vereist war.

Ähnliche Spuren alter Gletscher findet man auch auf den britischen Inseln und auf der scandinavischen Halbinsel. Auf der norddeutschen Küste bis nach Finnland hin findet man zahlreiche Granitblöcke, welche herabgelos aus den schwedischen Gebirgen stammen und welche kaum anders als durch Gletscher so weit von ihrer Heimath weggeführt sein können.

Wie aber lässt sich eine solche Eiszeit erklären, wenn man bedenkt, dass, geologischen Thatsachen zufolge, welche wir in einem späteren Capitel kennen lernen, die Temperatur der Erdoberfläche in historischer Zeit eine weit höhere gewesen sein muss, als gegenwärtig?

Einige schweizerische Naturforscher glauben eine Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs in dem Umstand gefunden zu haben, dass nach ihren Forschungen die heutige Sahara früher zweifellos Meeresboden gewesen sei, dass also hier früher ein ausgedehntes Meer vorhanden gewesen sein müsse. Ein solches Meer aber, meinten sie, müsse abkühlend die Temperatur von Europa gewirkt und die enorme Ausdehnung der Gletscher möglich gemacht haben. Nachdem aber die Sahara über den Meeresspiegel des Meeres emporgestiegen war, habe die heisse Luft, welche von dem glühenden Boden des afrikanischen Continents aufsteigt, als Föhnwind die Alpen verbreitet, ein namhaftes Abschmelzen der Gletscher bewirkt und dadurch dieselben auf ihre gegenwärtige Ausdehnung reducirt.

Diese Erklärung der Eiszeit fand vielfachen Widerspruch. Nicht nur, dass man die frühere Ueberfluthung der Sahara durch die Meeresfluth bezweifelt hätte; diese zugestanden, ist man nur den Consequenzen entgegengetreten, die man daraus gezogen hat.

Es ist nämlich durchaus nicht nachgewiesen, dass die Gegenwart eines weit ausgedehnten, sich bis zu den Tropen erstreckenden Meeres im Norden von Europa direct einen so stark erkaltenden Einfluss auf diesen Theil ausüben können, und dass die hohe Temperatur des Föhnwinds wirklich von der Sahara abzuleiten sei. Wir werden auf diesen Punkt später noch einmal zurückkommen.

Die Existenz eines ausgedehnten Meeres im Süden von Europa und der Umstand, dass ehemals die Temperatur aller Meere eine höhere war als gegenwärtig, konnte aber in ganz anderer Weise eine grössere Aus-

dehnung der Gletscher zur Folge haben. Die Höhe der Schneegränze und die Tiefe, zu welcher die Gletscher herabsteigen, ist ja, wie wir schon gesehen haben, unter sonst gleichen Umständen wesentlich durch Menge des Schneefalls in der Höhe bedingt. Ein ausgedehnteres und wärmeres Meer im Süden von Europa musste zunächst eine bedeutende Vermehrung des Schneefalles in den Alpen zur Folge haben, und zum so mehr, als wir wohl annehmen können, dass die Gipfel und Kämme derselben sich ehemals noch zu grösserer Höhe erhoben als gegenwärtig. Auf der Südgränze des Himalayagebirges geht ja unter dem Einflusse des warmen indischen Oceans die Schneegränze um 3000 Fuss tiefer herab als auf dem Nordabhang. Nehmen wir nun an, dass durch die Existenz eines ausgedehnten warmen Meeres im Süden von Europa eine nur so grosse Senkung der Schneegränze in den Alpen bewirkt worden wäre, so würde dies vollständig genügen, um die Eiszeit zu erklären.

186 Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre

Wenn man mit Hülfe einer Sammellinse Zunder durch Concentration der Sonnenstrahlen anzünden will, so wird man einen grossen Unterschied finden, je nachdem man den Versuch Mittags anstellt, wo die Sonne am Himmel steht, oder des Abends, wenn sie ihrem Untergange nahe ist. Während sich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geschieht dies am Abend entweder nur sehr schwierig oder gar nicht; die Intensität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmestrahlen ist also in beiden Fällen eben so ungleich wie die Intensität der Lichtstrahlen. Am Abend können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne anschauen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenstrahlen geblendet.

Dieser Unterschied in der Intensität der Licht- und Wärmestrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, dass der Weg, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurch zu legen haben, bedeutend grösser ist, wenn die Sonne dem Horizonte nahe steht; je grösser aber der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen, desto mehr Licht und Wärme wird absorbiert werden.

Um annähernd die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zu bestimmen, hat Herschel ein Instrument construirt, welches er Helion genannt hat. Pouillet gab diesem Instrumente folgende vervollständigte Einrichtung.

Das cylindrische Gefäss *a*, Fig. 279, ist aus dünnem Silberblech gemacht; sein Durchmesser beträgt ungefähr 1 Decimeter, seine Höhe bis 15 Millimeter, so dass es ungefähr 100 Gramm Wasser aufnehmen kann. In dem Gefässe befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Rohre durch einen das Gefäss verschliessenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt, diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen *b* und *c*, so dass sie mit dem Gefässe *a* mittelst des Knopfes *b* bestim-

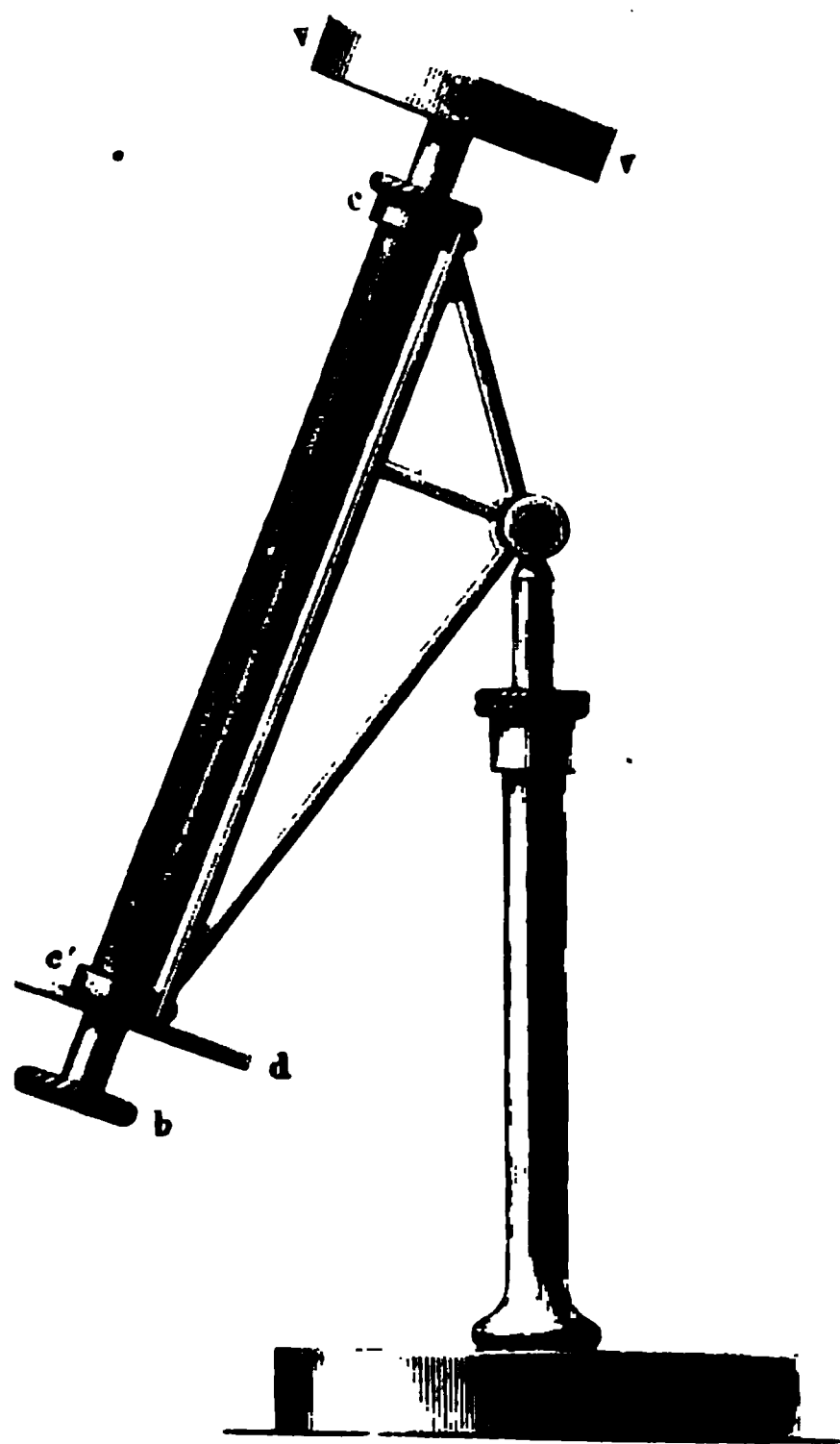
die Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat zum Zweck, das Wasser im Gefässe *v* in beständiger Bewegung zu erhalten, damit die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Die obere Fläche des Gefässes *v* ist mit Russ sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe *d* hat denselben Durchmesser wie das Gefäss *v*; richtet man das Instrument so gegen die Sonne, dass der Schatten des Gefässes auf die Scheibe *d* deckt, so kann man sicher sein, dass die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefässes rechtwinklig treffen.

Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers rascher als die der Umgebung.

Wenn das Gefäss *v* sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils

Fig. 279.



durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen hervorgebrachte

Temperaturerhöhung des Gefässes *v* jedenfalls bedeutender sein als die, welche man beobachtet; um aber auf die Wärme schliessen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist deshalb an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Wenn das Wasser in dem Gefässe die Temperatur der umgebenden Luft hat, wird das In-

strument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, dass die Wärme von der vorderen Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun fünf Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den

Apparat so, dass die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn i am Ende der sechsten Minute den Schirm wegnimmt. Während folgenden fünf Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des fasses v in beständiger Bewegung erhält; am Ende der elften Minute setzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an seine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden Minuten stattfindende Erkaltung.

Es sei *g* die in fünf Minuten durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, *r* und *r'* die Temperaturabnahme, welche der Apparat in den fünf vorhergehenden und in den fünf folgenden Minuten erleidet, so ist die Temperaturerhöhung *t*, welche durch Sonnenstrahlen hervorgebracht sein würde, wenn kein Wärmeverlust stattgefunden hätte:

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Resultate von 5 Beobachtungen, welche Pouillet mit dem Heliometer angestellt hat.

Beobachtungs- stunden	Dicke der durchlaufn. Luftschicht	Beobachtete Temperatur- erhöhung	Berechnete Temperatur- erhöhung	Unterschied
Am 25. Juni 1837.				
7 Uhr 30 M. Morgens	1.500	3.90	3.89	+ 0.01
10 „ 30 „ „	1.154	4.00	4.02	— 0.02
Mittag	1.107	4.70	4.70	0.00
1 Uhr	1.132	4.65	4.67	— 0.02
2 „	1.218	4.80	4.54	+ 0.26
3 „	1.370	—	4.32	—
4 „	1.648	4.00	3.95	+ 0.05
5 „	2.111	—	3.35	—
6 „	3.185	2.40	2.42	— 0.02
Am 27. Juli 1837.				
Mittag	1.107	4.90	4.90	0.00
1 „ 30 „ „	1.176	4.85	4.78	+ 0.07
2 „	1.248	4.75	4.74	+ 0.01
3 „	1.333	4.65	4.51	+ 0.14
4 „	1.422	4.55	4.13	+ 0.42
5 „	1.515	4.45	3.63	+ 0.82
6 „	1.612	4.35	3.42	+ 0.93

Beobachtungs- stunden	Dicke der durchlaufn. Luftschicht	Beobachtete Temperatur- erhöhung	Berechnete Temperatur- erhöhung	Unterschiede
--------------------------	---	--	---------------------------------------	--------------

Am 22. September 1837.

1. Tag	1,507	4,60	4,60	0
1. Uhr	1,559	4,50	4,54	— 0,04
2. „	1,723	4,30	4,36	— 0,06
3. „	2,102	4,00	3,97	+ 0,03
4. „	2,898	3,10	3,24	— 0,14
5. „	4,992	„	1,91	„

Am 4. Mai 1838.

1. Tag	1,191	4,80	4,80	0
1. Uhr	1,223	4,70	4,76	— 0,06
2. „	1,325	4,60	4,62	— 0,02
3. „	1,529	4,30	4,36	— 0,06
4. „	1,912	3,90	3,92	— 0,02
5. „	2,603	3,20	3,22	— 0,02
6. „	4,311	1,95	1,94	+ 0,01

Am 11. Mai 1838.

1. Uhr	1,193	5,05	5,06	— 0,01
2. „	1,164	5,10	5,10	0
3. „	1,193	5,05	5,06	— 0,01
4. „	1,288	4,85	4,95	— 0,10
5. „	1,473	4,70	4,73	— 0,03
6. „	1,812	4,20	4,37	— 0,17
7. „	2,465	3,65	3,67	— 0,02
8. „	3,943	2,70	2,64	+ 0,06

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Beobachtungsstunden, die zweite die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die verticale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die dritte enthält die beobachtete, die vierte die von Pouillet nach einer Formel, von der sogleich die Rede sein wird, berechnete Temperaturerhöhung des Wassers im Heliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, dass die Sonnenstrahlen so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die

Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, dass um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung $5,05''$ betrug, um 5 Uhr. wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so gross war, betrug Temperaturerhöhung nur $3,65''$, sie war also um $1,4''$ geringer: für dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr Abends, war Temperaturerhöhung nur $2,7''$, also abermals um $0,9''$ geringer.

Man sieht daraus, dass die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen einem etwas weniger raschen Verhältniss abnimmt als die Dicke durchlaufenen Luftschicht wächst.

Es fragt sich nun, ob man aus solchen und ähnlichen Versuchen Gesetz für die Absorption der Wärmestrahlen in der Luft in der V ableiten kann, dass sich daraus die absolute Grösse der atmosphärischen Absorption ergibt, dass man also die Temperaturerhöhung berechnen kann, welche das Wasser im Heliometer erfahren würde, wenn man Instrument an die Gränze der Atmosphäre bringen könnte.

Pouillet hat gefunden, dass sich die Formel

$$t = a p^{\epsilon}$$

recht gut den Beobachtungen anschliesst, wenn man für a immer constanten Werth $6,72$, für p aber einen Werth setzt, der von Tage zum anderen sich ändert. Dieser Werth von p ist nach den Beobachtungen vom

28. Juni . . .	0.7244
27. Juli . . .	0.7555
22. September .	0.7780
4. Mai . . .	0.7556
11. Mai . . .	0.7888

Für ϵ ist die jedesmalige Dicke der durchlaufenen Luftschicht zu setzen wie sie in der zweiten Columnne steht, nach dieser Formel sind die Werthe in der vierten Columnne berechnet.

Pouillet schliesst nun weiter, dass, wenn man in dieser Formel $\epsilon = 0$ setzt, man die Temperaturerhöhung erhalten müsse, welche ein Heliometer an der Gränze der Atmosphäre oder in dem Falle erhalten würde, dass die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte. Man erhält für $\epsilon = 0$

$$t = 1 = 6,72.$$

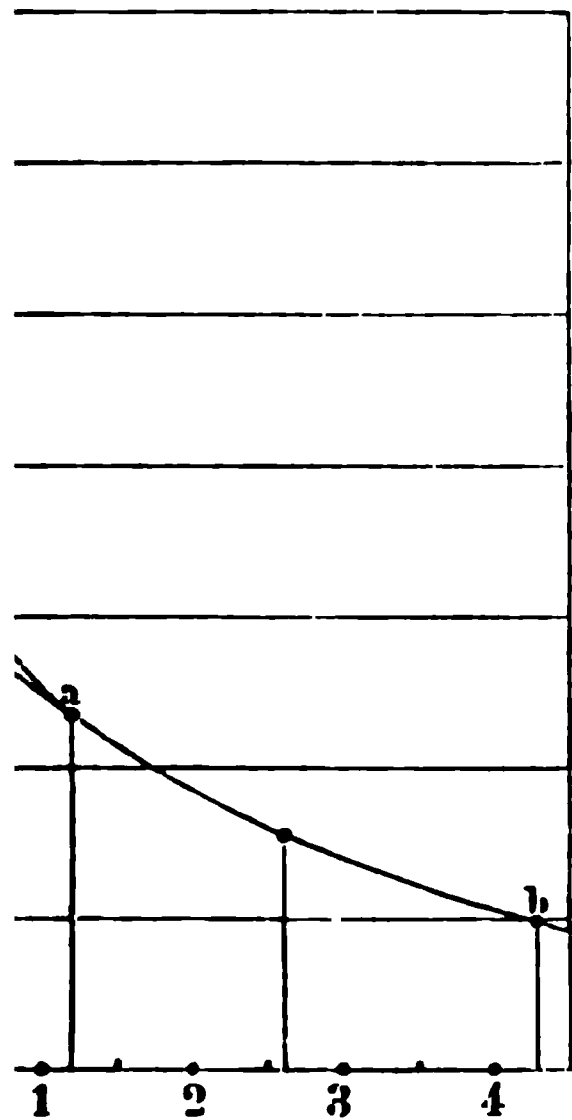
An der Gränze der Atmosphäre würde demnach die Temperatur des Instrumentes um $6,72$ über die Temperatur der Umgebung steigen, werden demzufolge selbst am Morgen an ganz heiteren Tagen um $1''$ höher, als die Sonne keine der Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt, wenn der Himmel wolkenlos oder nur mit einem Schleier bedeckt ist, muss die Wärmehöhe in der Luft noch viel bedeutsamer sein.

Dieses Resultat kann jedoch kaum als ein annähernd richtiges angesehen werden, da sich aus folgenden Betrachtung ergibt.

ir haben im Lehrbuch der Physik (7. Aufl. 2. Bd. S. 824) gesehen, wenn Wärmestrahlen auf ein absorbirendes Mittel fallen, in den Schichten eine stärkere Absorption stattfindet als in den folgenden. Wärmemengen, welche durch eine Glasplatte von 3, von 5 und von 7 Meter Dicke gehen, verhalten sich zu einander, wenn als Wärmequelle die Locatelli'sche Lampe dient, wie 65,3 : 62 : 60. Gesetzt nun, hätte man nur mit diesen drei Platten Versuche angestellt, man wüsste nicht, welches die directe Wirkung der Wärmequelle ist, könnte man wohl mit einiger Sicherheit aus diesen drei Versuchen ableiten? Nicht! Hier aber haben wir genau denselben Fall.

Die Curve ab , Fig. 280, stellt das Gesetz dar, nach welchem die Kraft der Sonnenstrahlen abnimmt, wenn die Dicke der Luftschicht wächst. Die Curve ist nach den am 4. Mai 1838 Mittags,

Fig. 280.



um 5 und um 6 Uhr gemachten Beobachtungen construirt, die Dicken der durchlaufenen Luftschichten sind als Abscissen, die entsprechenden Temperaturerhöhungen als Ordinaten aufgetragen. Um zu finden, wie gross die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre sein würde, muss man die Curve auch noch jenseits a , nach der Ordinate o hin, so verlängern, wie das Curvenstück innerhalb ab andeutet, d. h. so, dass das angesetzte Curvenstück mit dem schon vorhandenen eine continuirliche krumme Linie bildet; auf diese Weise ist die Curve bis c fortgesetzt, und danach wäre denn allerdings die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre $6,7^\circ$; allein wir können die Curve ba auch noch auf andere Weise fortsetzen, wir können sie nach d

und die Curve dab würde immer noch eine continuirliche krumme Linie sein, und wenn dieser Lauf der Curve das wahre Verhältniss darstellte, so würde die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre 12° sein, in diesem Falle würden selbst am Mittag weit mehr als die Hälfte aller von der Sonne zur Erde kommenden Wärmestrahlen in der Atmosphäre absorbirt. Eines ist so gut möglich wie das andere, der Lauf der Curve innerhalb ab enthält nicht Bestimmungsstücke, um sie ausserhalb dieser Gränzen mit Sicherheit fortsetzen zu können.

Wenn man eine Formel ausfindig macht, welche sich wie die Pouillet'sche den Beobachtungen ziemlich gut anschliesst, so folgt daraus noch

nicht, dass sie den wahren Zusammenhang darstellt; man kann viele andere Formeln ausfindig machen, welche eben so gut, viel auch noch besser, zu den Beobachtungen passen und welche doch den Fall, dass man die Dicke der durchlaufenen Luftschicht gleich setzt, ganz andere Werthe für die Temperaturerhöhung an der Oberfläche der Atmosphäre geben.

Solche Formeln sind ganz zweckmässig, um innerhalb der Bestimmungsgrenze Zwischenwerthe zu berechnen, über diese Grenzen kann man sie jedoch nicht mehr mit Sicherheit gebrauchen. Hätte z. B. für verschiedene Temperaturen zwischen 20° und 80° die Dichte des Wassers mit der grössten Genauigkeit bestimmt, hätte man die Abhängigkeit zwischen der Temperatur und der Dichtigkeit construirt, welche sich den Beobachtungen sehr gut anschliesst, so lässt sich aus denselben doch wohl schwerlich beweisen, dass das Wasser bei 4° ein Dichtigkeitsmaximum hat, wenn man es nicht schon zuvor aus gewusst hätte.

Aus der Betrachtung der Fig. 279 zeigt sich, dass man die Ordinate von a aus nicht wohl zu einem tieferen Punkte der Ordinate o kann als zum Punkte c , dass also die Wärmeabsorption in der Atmosphäre wenigstens so gross ist wie Pouillet gefolgert hat, d. h. also selbst für grosse Sonnenhöhen wenigstens $\frac{1}{3}$ aller von der Sonne nach der Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbiert werden.

Dass aber die Absorption der Wärmestrahlen in der Luft eine viel bedeutendere sein muss, als man nach der Pouillet'schen Rechnung erwarten sollte, geht auch aus den in §. 266 des Bandes meines Lehrbuchs der Physik (7. Aufl. S. 833) besprochenen Versuchen Tyndall's über die Diathermanität der Gase, als auch aus den oben §. 140, S. 369 besprochenen Resultaten hervor, zu denen Wild in Betreff der Lichtabsorption in der Atmosphäre gelangt ist.

Pouillet berechnet in der Voraussetzung, dass die Temperaturerhöhung des Heliometers in 5 Minuten wirklich $6,72^{\circ}$ betragen würde, wenn die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte, die Wärmemenge, welche in der angegebenen Zeit dem Instrumente durch die Wärmestrahlen zugeführt würde, daraus schliesst er weiter auf die Wärmemenge, welche überhaupt von der Sonne auf die Erde gelangt, und kommt zum Resultate, dass, wenn die Wärmemenge, welche die Sonne in einem Jahre auf die Erde sendet, auf derselben gleichförmig vertheilt wäre und dass sie ohne Verlust zum Einschmelzen verwendet würde, die Erde im Stande wäre, eine die Erde einhüllende Eisschicht 31 Meter Dicke zu schmelzen, und ferner, dass, wenn die Sonne nur von Eis umgeben wäre, und alle von ihr ausgehende Wärme zum Einschmelzen verwendet würde, um dieses Eis zu schmelzen, dass sie in einer Minute eine Schicht von 12 Metern Dicke weggeschmolzen haben würde.

ie Grundlage der Betrachtungen und Rechnungen, durch welche zu diesem Resultate gelangte, zu schwankend ist, so ist wohl die Erörterung derselben überflüssig.

nächtliche Strahlung. Gleich wie der unmittelbar von 187
Sonnenstrahlen getroffene Boden eine höhere Temperatur annimmt, so sinkt die Temperatur der umgebenden Luft, so sinkt die Temperatur des Bodens auch unter die Temperatur, wenn er des Nachts seine Wärme gegen den Himmelsstrahl abgibt, ohne dass ihm von dorthin ein Ersatz für seinen Wärmeverlust käme, wie dies unter anderen die von Wells angestellten Versuche zeigen.

Man kann in einer ruhigen heiteren Nacht kleine Massen von Heu, Wolle, Baumwolle oder andere lockere, die Wärme schlecht ableitenden Substanzen auf den Boden legt, so findet man nach einiger Zeit, dass die Temperatur 6, 7 ja 8 Grad Celsius niedriger ist als die Temperatur der Luft, in einer Höhe von 6 bis 8 Fuss über dem Boden.

Man kann auch an Stellen, an welche die Sonnenstrahlen nicht hindringen, von welchen über ein grosser Theil des Himmels sichtbar, ist dieses Sinken der Temperatur des Grases, der Baumwolle u. s. w. unter die Lufttemperatur bemerken. Schon 3 bis 4 Stunden nach Mittag merklich; aber erst die nächtliche Strahlung bringt eine bedeutende Erkaltung der Erdoberfläche hervor.

Man beobachtete des Nachts einen Unterschied von fast 9° C. zwischen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Lufttemperatur.

Fig. 281.



Scoresby und Parrot haben in den Polarzonen ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von -20° C. gemacht.

Um die Gesetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Instrument construirt, welches er Actinometer nennt und welches Fig. 280 dargestellt ist. Es besteht aus einem Thermometer, welches in einem Metallcylinder horizontal in solcher Weise angebracht

ist, dass durch Schwannensfedern jede Wärmeleitung von unten und von oben verhindert wird. Wenn dieser Apparat in einer heiteren Nacht

Freie gestellt wird, so muss das Thermometer natürlich unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken. Die fol-

gende Tabelle enthält einige Resultate, welche Pouillet mit seinen Instrumente erhalten hat.

Tage.	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterschiede	Tage	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers
Vom 20. bis 21. April.					Vom 5. bis 6. Mai.			
20 April	8 Uhr Abds.	5,6	- 0,8	6,4	5. Mai	5 Uhr Abds.	25,5	1
	9 " "	4,5	- 2,0	6,5		6 " "	25,1	1
	10 " "	3,6	- 3,0	6,6		7 " "	23,1	1
	4 ¹ / ₂ " Mrgs.	0,0	- 7,0	7,0		8 " "	22,9	1
	5 " "	0,0	- 7,0	7,0		9 " "	21,5	1
	5 ¹ / ₂ " "	0,1	- 6,5	6,6		10 " "	17,5	1
21 April	8 " "	0,0	- 6,5	6,5	6. Mai	4 " Mrgs.	12,1	
	9 " "	0,0	- 6,5	6,5		4 ¹ / ₂ " "	12,1	
	10 " "	0,0	- 6,5	6,5		5 " "	12	

Diese Versuche zeigen uns, dass die Temperatur des Actinometers fast in derselben Weise abnimmt, wie die Temperatur der Luft, und bei niedriger Lufttemperatur eine eben so starke Strahlung gegen den Himmelsraum stattfindet wie bei hoher.

Diese Wirkungen der nächtlichen Strahlung beweisen, dass die Temperatur des Weltraums eine sehr niedrige sein müsse. Nach Fizeau ist die Temperatur des Weltraums — 50° bis 60° C.; Arago hat darauf aufmerksam gemacht, dass sie jedenfalls weit geringer sei, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur — 56,7° C. beobachtet hat. Eine so bedeutende Temperaturerniedrigung wäre auf der Erdoberfläche nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraums nicht noch weit geringer wäre.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraums zu — 142° bestimmt; da jedoch die Schlüsse, durch welche er zu diesem Resultat gelangte, sehr gewagt sind, indem ihre Grundlage höchst unsicher ist, mag hier die Anführung dieses Resultats genügen.

In Bengalen, wo die Temperatur der Luft nie auf Null sinkt, nutzt man die nächtliche Strahlung, um ziemlich bedeutende Quantitäten von Eis herzustellen. Von einer derartigen Eisfabrik, welche 300 Personen beschäftigt, giebt Williams folgende Beschreibung

Ein wohl geebnetes, ungefähr 4 Acres (ungefähr 160 000 Quadrat-
 mas) haltendes Terrain ist in Quadrate von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Meter Seite ge-
 eilt, welche durch kleine Erdwälle von ungefähr 1 Decimeter Höhe
 gefasst sind. Diese Abtheilungen nun werden mit Stroh belegt und
 auf so viel flache Schüsseln mit Wasser gesetzt, als eben Platz haben.
 Während des Nachts bildet sich das Eis auf der Oberfläche des Wassers.
 Diese Eisbildung ist nur eine Folge der Abkühlung, welche das,
 nach Leslie's Versuchen mit einem starken Ausstrahlungsvermögen be-
 setzte Wasser, durch die nächtliche Strahlung erleidet, während das Stroh
 schlechter Wärmeleiter die Zuführung der Wärme vom Boden ver-
 hindert.

Dass hier die Eisbildung nicht, wie man früher glaubte, von der
 Verdampfung des Wassers herrührt, geht daraus hervor, dass ein etwas
 hefter Wind, welcher doch die Verdampfung begünstigt, das Gefrieren
 des Wassers in den Schüsseln verhindert.

Alles, was die freie Strahlung gegen den Himmelsraum hindert,
 hindert auch die Abkühlung des Bodens und der ihn bedeckenden Gegen-
 stände. Wells spannte ein quadratisches baumwollenes Tuch von 2 Fuss
 Seitelänge mittelst 4 Holzstäbchen 6 Zoll über dem Rasen in horizon-
 taler Richtung aus. Unter diesem Tuche fand Wells die Temperatur
 des Rasens oft bis zu 6° C. höher als an benachbarten nicht geschützten
 Stellen.

Eine ähnliche Rolle, wie hier das Tuch, spielen die Wolken, welche
 das Himmelsgewölbe überziehen. In einer heitern Nacht war das Gras
 auf der Wiese bereits $6,7^{\circ}$ C. kälter als die Luft geworden, als sich Wolken
 zeigten; sogleich stieg die Temperatur des Grases wieder und zwar stieg
 auf $5,6^{\circ}$ C., ohne dass die Lufttemperatur sich geändert hätte.

Wie das Gras verhält sich auch die Oberfläche des Schnees. Am
 1. December 1869 Nachmittags $4^h 30'$ fand ich bei vollkommen heiterem
 Himmel die Temperatur

der Schneeoberfläche	— $13,7^{\circ}$ C.
der Luft 4 Fuss über dem Boden . . .	— $9,1^{\circ}$ C.

Die Oberfläche des Schnees war also um $4,6^{\circ}$ C. kälter als die Luft.

Wenn in heiteren Nächten die Lufttemperatur um 2 bis 4° C. über
 den Gefrierpunkt ist, wie dies im April und Mai bei uns öfters vorkommt,
 können die jungen zarten Blätter und Keime durch die nächtliche
 Abkühlung leicht unter den Gefrierpunkt erkaltet werden, so dass sie,
 selbst bei bedecktem Himmel nicht zu fürchten ist, erfrieren, ohne dass
 das Thermometer auf Null fällt.

Wenn die Lufttemperatur nicht selbst unter den Gefrierpunkt fällt,
 so ist das Erfrieren der jungen Triebe nur dann zu fürchten, wenn bei
 klarem Himmel die Luft vollkommen ruhig ist, oder an Orten, welche
 dem Winde geschützt sind. So kommt es z. B. öfters vor, dass die
 Pflanzen an vertieften Stellen, etwa in alten Festungsgräben, erfrieren,

während sie dicht daneben auf Hügeln unversehrt bleiben. In der Nähe von Freiburg habe ich beobachtet, dass neben der sich 3 bis 4 Fuss über die Umgebung erhebenden Chaussee die aus dem Boden kommenden, unter dem Niveau der Chaussee befindlichen Wurzeltriebe junger Nadelbäume total erfroren waren, während das Laub der Kronen dieser Bäume nicht im mindesten vom Frost gelitten hatte.

Solche Nachtfröste können in Deutschland und Frankreich noch zur Mitte Mai (Pancratius und Servatius, 12. und 13. Mai) gefürchtet werden, und deshalb fürchtet der Gärtner den Stierneuen, d. h. die Zeit in welcher der Neumond nahezu mit dem Eintritt des Mondes in das Zeichen des Stiers zusammenfällt.

Man hat diese Maifröste mit dem Umstand in Verbindung gebracht, dass das Steigen der Temperatur im Mai keineswegs ein gleichförmiges, sondern dass es durch Rückfälle unterbrochen ist, welche sich, wie bereits in §. 168 gesehen haben, auch noch in vieljährigen Mitteln gemittelt machen. Solche Rückfälle sind aber keineswegs dem Mai eigenthümlich, sie kommen in gleicher Weise in allen Monaten des Jahres vor.

188 Temperatur des Bodens. Wir haben bisher nur die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der obersten Bodenschicht besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch Absorption der Sonnenstrahlen weit heisser, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wäldern steigt die Hitze des Sandes oft auf 50° bis 60° C. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direkt treffen können, die Pflanzen selbst binden gewissermaassen eine gewisse Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber, wie wir gesehen haben, bei ihrem grossen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, dass die Temperatur des Grases oft 7 bis 9 Grad unter die der Luft sinkt. Im Inneren der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer sein als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden schon bei einer Tiefe von 2 Fuss die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer noch grösseren Tiefe verschwinden sogar die jährlichen Variationen.

hier stets dieselbe Temperatur herrscht, welche aber keineswegs mit der mittleren Temperatur des Ortes genau übereinstimmt. Seit 1671 hatte Giov. Cassini bemerkt, dass die Temperatur der des Observatoriums zu Paris während des ganzen Jahres sich nicht . Im Jahre 1730 machte Lahire dieselbe Beobachtung. Der Jean Cassini, Urenkel des obigen, übersah zuerst die Grösse dieser Erscheinung; im Jahre 1771 fing er an, sie durch eine von Versuchen näher zu untersuchen und im Jahre 1783 stellte er wissenschaftlich mit Lavoisier in den Kellern des Observatoriums einen empfindlichen Apparat auf, welcher entscheidende Resultate liefern . Dieser Apparat, welcher noch jetzt daselbst aufgestellt ist, hat die Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 Metern, erhebt sich ein massiver Steinblock von 1,3 Meter Höhe, auf welchem ein mit Sande gefülltes Glasgefäss steht; in diesem Sande steckt die Kugel des Thermometers, dessen Theilung auf Glas geätzt ist. Das Thermometer ist von Lavoisier selbst construirt und mit wohl gereinigtem Silber gefüllt; seine Kugel hat 7 Centimeter im Durchmesser, und seine Theilung ist sehr fein, so dass ein Grad eine Länge von ungefähr 10 Centimetern einnimmt, dass also $\frac{1}{100}$ Grad noch fast eine Länge von 1 Centimeter hat; man kann demnach noch die Hälfte von $\frac{1}{100}$ Grad ablesen. Das Thermometer geht nur bis auf 16° C., es hat aber oben einen Behälter, in welches das Quecksilber hineinsteigen kann, wenn die Temperatur über 16° C. steigen sollte.

Dieses Thermometer zeigt nun eine constante Temperatur von 13° C., und diese Temperatur hat sich seit einem halben Jahrhundert nicht geändert.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturschwankungen verbleiben, ist nicht in allen Gegenden dieselbe; sie hängt von der Leichtigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Grösse des Temperaturunterschiedes der heissesten und kältesten Jahreszeit ab. In der Zone Amerikas fand Boussingault schon in einer Tiefe von 3 Decimetern eine constante Temperatur, weil hier die Wärme gleichförmig über die verschiedenen Zeiten des Jahres vertheilt ist.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, ersieht man aus folgenden Resultaten, welche die zu diesem Zwecke in dieser Beziehung von 1834 bis 1837 angestellten Versuche ergeben haben.

Tiefe.	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres.	
0,19 ^m	13,28° C.
0,45	12,44
0,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Straßburg und Brüssel, so ergibt sich, dass die jährlichen Schwankungen in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden.

Da die Wärme nur allmähig von der Oberfläche in die Tiefe dringt, so ist klar, dass in der Tiefe das Maximum der Temperatur später erreicht wird als in der Atmosphäre, wie dies auch für Forbes in Edinburgh in verschiedenen Bodenarten angestellt wurde bestätigt.

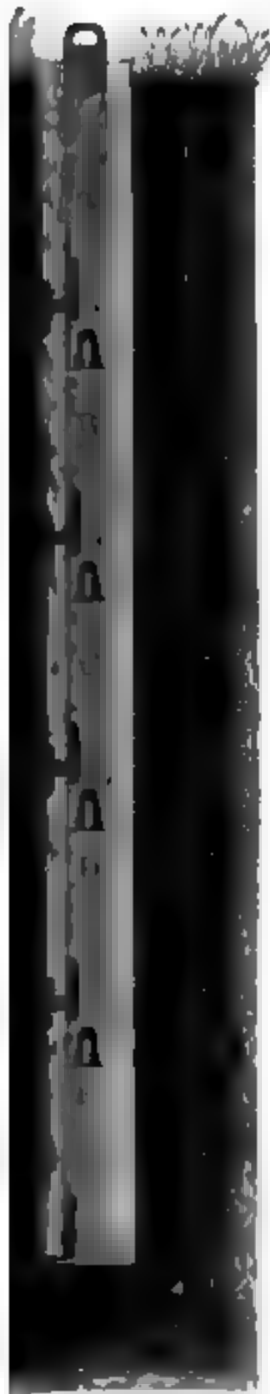
Bodenart.	Jährl. Temperaturschwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von		
	1 ^m	1,9 ^m	3,9 ^m	7,8 ^m	1 ^m	1,9 ^m	3,9 ^m
Trapp . .	10,58° C.	6,61°	3,5°	0,90°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.
Sand . .	11,23	5,90	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.
Sandstein .	9,56	7,72	5,22	2,28	5. Aug.	19. Aug.	11. Sept.

Aus diesen Versuchen ergibt sich nun auch, wie ungleichungsfähigkeit verschiedener Fels- und Bodenarten für die Wärmeleitung. In gleicher Tiefe sind im Sand die Schwankungen der Temperatur nicht allein grösser, sondern auch die Temperatur stellt sich auch früher ein als im Sand und im Trapp (Diorit) besitzt unter den drei genannten das geringste, das beste Leitungsvermögen.

Um die Temperatur des Bodens bis zu einer Tiefe von 24 Metern zu beobachten, hat man die in der Fig. 281 erläuterte Vorrichtung benutzt. In den Boden ist ein 24 Fuß langes hölzernes Rohr quadratischen Querschnitts (2,75' im Lichten) eingegraben, welches durch eine Kupferplatte geschlossen ist. In die Höhlung des Rohrs passen drei Thermometer, A, B, C, D und E. E ist 3 Fuß

es, jeder der drei übrigen ist 4 Fuss lang. Jeder dieser fast quadratischen Stäbe ist oben mit einem eisernen Bügel versehen, welcher in Höhlung des auf ihm aufsitzenden Stabes hineinragt. An der einen

Fig. 281.



Seite ist in jedem dieser Stäbe eine Rinne angebracht (*a, b, c, d* und *e*), in welcher ein in Zehntel Grade getheiltes Thermometer mit grossem Gefässe befestigt ist. Der Thermometerkugel gegenüber ist, um die freie Mittheilung der Wärme zu vermitteln die Wand des Holzrohres durchbohrt und die Oeffnung aussen mit einer Kupferplatte geschlossen.

Das Thermometer *a* ist 4, *b* ist 8, *c* ist 12, *d* ist 16 und *e* ist 20 Fuss tief unter der Oberfläche des Bodens. Um eine Beobachtung zu machen wird zuerst *A* hervorgezogen und das Thermometer bei *a* rasch abgelesen, ehe sich noch sein Stand ändern kann. Dann wird *B* mittelst eines an einer Schnur befestigten Hakens hervorgezogen, welcher in dem am oberen Ende von *B* angebrachten Bügel eingreift, und dann rasch die Ablesung des Thermometers *b* vorgenommen u. s. w.

Zu Bogenhausen sind zwei solche Röhren dicht neben einander nordwestlich, zwei andere aber südöstlich von der Sternwarte angebracht. Die Ablesung wird daselbst einmal wöchentlich und zwar am Mittwoch vorgenommen.

Aehnliche Vorrichtungen hat Lamont construiert, um die Bodentemperatur bis zu 4 Fuss Tiefe zu ermitteln.

Fig. 282 (a. f. S.) stellt nach Lamont's Beobachtungen zu Bogenhausen die jährliche Curve der Bodentemperatur für eine Tiefe von 4, 12 und 20 Fuss dar. Die Figur zeigt deutlich, wie die Grösse der Temperaturschwankungen mit der Tiefe abnimmt und wie das jährliche Maximum und Minimum der Temperatur um so später eintritt, je weiter man in Tiefe geht. So fällt z. B. in einer Tiefe von 20 Fuss das Minimum Temperatur (ungefähr $6,4^{\circ}$ R.) auf den Mai, das Maximum (8° R.) im Anfang November.

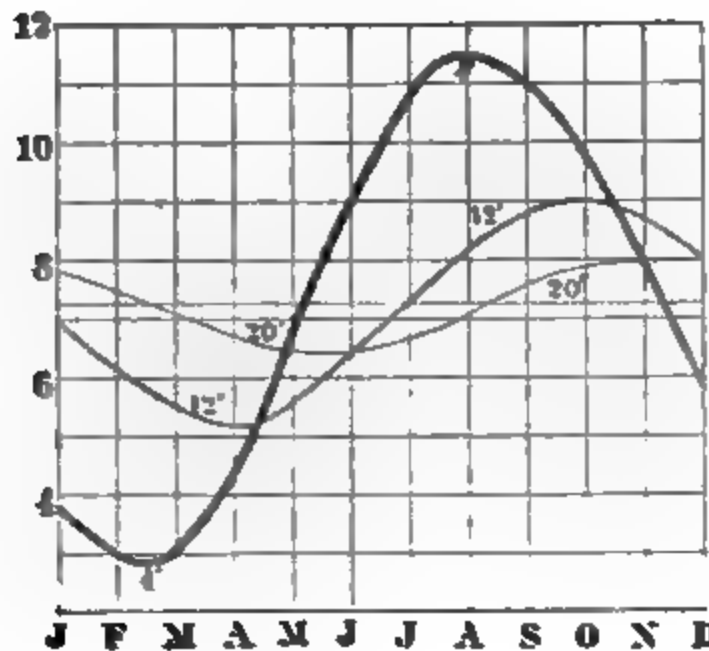
Das Jahresmittel der Temperatur ist für die verschiedenen Tiefen Lamont'schen Beobachtungen nahezu dasselbe, nämlich 7,2, also gleich der mittleren Lufttemperatur für München.

Wie die Lufttemperatur in einzelnen Jahren bald mehr, bald weniger von dem normalen Gange abweicht, so ist dies auch bei der Bodentemperatur der Fall, nur sind die Abweichungen in der Tiefe geringer. Im Jahre 1861, 1862 und 1863 war die Bodentemperatur fast

durchgängig höher, in den Jahren 1864 und 1865 aber stets nach dem aus den fünf Beobachtungsjahren von 1861 bis 1863 leiteten normalen Gange.

In solchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur un-

Fig. 282.



vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in den Tiefen:

15.2 ^m	— 7.5° C.
23.5	— 6.9
36.5	— 5.0
116.5	— 0.6

Wenn man von der Bodentemperatur eines Ortes versteht man darunter die Temperatur des Bodens in einer Tiefe, in welcher eben die jährlichen Variationen verschwinden. Solche Stellen, welche die Orte gleicher Bodenwärme mit einander verbinden, sind Isogeothermen genannt. Tab. XVI stellt den Lauf der Isogeothermen neben dem der Jahresisothermen dar. Die Jahresisothermen sind mit arabischen Ziffern bezeichnete Curven, während die Isogeothermen feiner gezogen und durch römische Zahlen bezeichnet sind. Zwischen den Jahresisothermen von 12° und 16° R. ist die Temperatur sehr nahe dem Jahresmittel der Lufttemperatur gleich. In wärmeren Gegenden ist die Bodentemperatur niedriger, in kälteren ist sie höher als das Jahresmittel der Lufttemperatur. So sieht Tab. XVI, dass die Isogeotherme von 4° R. für einen grossen Theil der Isogeotherme von 12° nahe liegt und dieselbe in Rechnung zu ziehen ist.

Um den Lauf der Isogeothermen zu bestimmen, musste K.

Gefrierpunkte ist, einer bestimmten Tiefe Boden stets gefroren ist z. B. zu Jakutsk die mittlere Jahrestemperatur — 9.7° C. ist, wie erwähnt wurde, trotz bedeutenden Sommer einiger Tiefe der Boden ständig gefroren. In Jakutsk. Wasser zu finden. Hermann hier einen Brunnen an. fand aber in einer Tiefe von 50 Fuss noch eine Temperatur von — 7.5° C. Der Brunnen wurde später vertieft.

an Mangels an unmittelbaren Beobachtungen der Bodentemperatur zu Wellentemperaturen seine Zuflucht nehmen.

Nach den Beobachtungen von Schlagintweit befindet sich die geotherme von 0° in der Tauernkette (höchster Gipfel des Grossglockner, etwas über 12 000 Fuss) in einer Höhe von 10 400 Fuss, wo das Jahresmittel der Lufttemperatur ungefähr — 5,6° R. beträgt.

Innere Erdwärme. Wenn man in der Erdoberfläche über den Meeresspiegel hinab vordringt, in welchem die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, so findet man eine mit wachsender Tiefe stets zunehmende Temperatur. In Bergwerken war diese Erscheinung schon längst bemerkt worden, ehe man noch regelmässige Beobachtungen daran anstellte; die Bergleute wussten, dass in der Tiefe nicht allein die Temperaturveränderungen nicht mehr fühlbar sind, sondern dass es da auch ausserordentlich warm ist.

Saussure fand zu Bex im Canton Waadt in einem Schachte, welcher seit drei Monaten von Niemandem befahren worden war, eine Temperatur von

14,4° C.	in einer Tiefe von	312 Fuss
15,6	" " " "	550 "
17,4	" " " "	660 "

Später wurden ähnliche Messungen in den Bergwerken der verschiedensten Gegenden angestellt, und alle führten zu dem gleichen Resultate, wenn sich auch nicht an allen Orten das gleiche Gesetz der Temperaturzunahme herausstellte. Die in dieser Beziehung gefundenen Unregelmäßigkeiten sind aber sehr erklärlich, wenn man bedenkt, dass die verschiedenen Felsmassen, in welchen die Schächte angelegt sind, nicht gleich gute Wärmeleiter sind, dass es nicht gleichgültig sein kann, ob man von der Höhe eines Berges, von der Sohle eines Thales oder von der Ebene herabsteigt, dass die Tagwasser, welche in den Boden einsinken, mehr oder weniger störend auf die Regelmässigkeit der Temperaturzunahme einwirken müssen.

Wie in Schächten, so beobachtet man auch in Bohrlöchern eine mit der Tiefe stets wachsende Temperatur. Magnus fand z. B. in einem Bohrloch bei Rüdersdorf in der Mark Brandenburg, welches bis zu 680 Fuss unter den Meeresspiegel hinabreicht, folgende Temperaturen:

10,625° C.	in einer Tiefe von	60'
11,875	" " " "	200
14,212	" " " "	400
17,250	" " " "	680

In dem Bohrloche des artesischen Brunnens zu Grenelle bei Paris fand man in einer Tiefe von 1650 Fuss die Temperatur von 27,7° C., in

dem zu Neusalzwerk in Westphalen in einer Tiefe von 2050 Fuss Temperatur von $32,75^{\circ}$ C.

Im Durchschnitt entspricht ein Tiefergehen von 90 bis 100 einer Temperaturerhöhung von 1° C. Vorausgesetzt, dass bei weit Eindringen in die Erdrinde die Temperatur nach dem gleichen Gesetze zunähme, müsste man bereits in einer Tiefe von 10 000 Fuss die Temperatur des siedenden Wassers finden, und in einer Tiefe von ungefähr fünf geographischen Meilen müsste eine Hitze herrschen, bei welcher Gusseisen und Basalt flüssig sind.

Alle in diesem Paragraphen besprochenen Thatsachen deuten darauf hin, dass sich das Innere der Erde in feurig-flüssigem Zustande befinde. Dieser glühende Erdkern wird von einer erstarrten Hülle von verhältnissmässig geringer Dicke, der festen Erdrinde, eingeschlossen, deren Leitungsfähigkeit so gering ist, dass die eigene Wärme des Körpers auf der Oberfläche desselben nicht mehr merklich und sein Leben vor fernerer Erkaltung geschützt ist.

Nur bei vulcanischen Ausbrüchen und in heissen Quellen dringt die innere Erdwärme noch bis zur Oberfläche der Erde hervor.

Der Umstand, dass die Erde eine der gegenwärtigen Lage entsprechende Umdrehungsaxe und der gegenwärtigen Umdrehungsgeschwindigkeit entsprechende Abplattung hat (siehe Seite 69), beweist, dass der ganze Körper früher im flüssigen Zustande war, und aus geologischen Untersuchungen geht hervor, dass dies nur ein feurig-flüssiger Zustand gewesen sein könne. In jener Periode des feurig-flüssigen Zustandes also Axenlage und Umdrehungsgeschwindigkeit dieselben wie jetzt.

Allmählig erstarrte die Erdoberfläche, aber noch lange, während die feste Erdrinde nach und nach an Dicke zunahm, war die innere Wärme auf ihrer Oberfläche merklich, wie aus den Pflanzenpetrefakten früherer Schöpfungsperioden hervorgeht.

Die paläozoischen Gebilde, denen auch die Steinkohlen angehören, zeigen eine auffallende Gleichförmigkeit in ihrer Ausbreitung über die Erde. In Europa und Asien, in Amerika und Australien Cap der guten Hoffnung wie in Grönland, kurz vom 75. Grade nördlicher bis zum 50. Grade südlicher Breite enthalten sie, wenn auch nicht ganz die gleichen, doch stets analoge Arten, deren Aehnlichkeit gleiche physikalische Verhältnisse schliessen lässt, unter denen sie lebten.

Eine besonders hervorragende Rolle spielen in der Steinkohlenzeit die Farn, welche, oft die Höhe mässiger Bäume erreichend, fast die ganze Vegetation aller Pflanzenarten jener Periode bilden. Gegenwärtig finden sich baumartigen Farn nur noch in den Tropengegenden und zwar vorzugsweise auf Inseln. Auf den tropischen Inseln Westindiens bilden die Farn die Hauptvegetation, auf Neuseeland $\frac{1}{2}$, auf Tahiti $\frac{1}{4}$, auf St. Helena sogar $\frac{1}{2}$ der gesamten Vegetation. Danach aber ist man berechtigt, die Flora der Steinkohlenzeit als eine Insellflora mit tropischer Wärme zu betrachten.

sehen. In der Steinkohlenperiode war also eine tropische Wärme mit warmer Feuchtigkeit über die ganze Erde verbreitet.

Dass in jenen Zeiten überhaupt eine höhere Temperatur auf der Oberfläche herrschte, erklärt sich dadurch, dass die erkaltete feste Krinde bei weitem noch nicht die Dicke hatte wie gegenwärtig. In der Steinkohlenperiode konnte die Dicke der festen Erdrinde höchstens 100 Meter betragen, und in einer Tiefe von 100 Metern herrschte bereits die Temperatur des siedenden Wassers, was gegen jetzt eine directe Temperaturerhöhung der Climata um ungefähr $1\frac{1}{2}$ Grad auf der Erdoberfläche zur Folge haben musste. Die gleichförmigere Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche wurde aber in der Steinkohlenperiode durch Meere vermittelt, welche noch nicht wie heutzutage durch bedeutende Continente unterbrochen, durch mächtige Strömungen die Wärme der Aequatorialzone weit ungehinderter den höheren Breiten zuführen und den mildernden Einfluss weit mehr geltend machen konnten als jetzt.

Dazu kommt noch, dass bei dem massenhaften Zuströmen warmen Wassers gegen die Pole hin bedeutende Nebel und Wolkenmassen sich bilden mussten, welche die Polargegenden wie eine schützende Hülle umgaben und die erkaltende Wirkung der nächtlichen Strahlung hinderten.

Zur paläozoischen Zeit war die Temperatur der Aequatorialzone wahrscheinlich nicht viel höher als jetzt, während in höheren Breiten auf von warmem Wasser umspülten Inseln sich eine tropische Flora entwickeln konnte.

Gegenwärtig ist die schlechtleitende feste Erdrinde so dick, dass eine merkliche Erkaltung des Erdkernes mehr stattfinden kann, und ein Gleichgewicht stattfindet zwischen der Wärmemenge, welche die Oberfläche von der Sonne empfängt, und derjenigen, welche sie wieder in den Himmelsraum ausstrahlt.

Vulcane. In verschiedenen Gegenden der Erde findet man Berge 190 mehr oder weniger kegelförmiger Gestalt, auf deren Gipfel sich eine trichterförmige Vertiefung, der Krater, befindet. Dieser Krater hat eine kreisrunde Gestalt und der Kegel, welcher ihn trägt, besteht gänzlich aus aufgeschütteten Materialien, weshalb er als Aschenkegel bezeichnet wird. Als besonders charakteristische Beispiele solcher Kraterberge, welche man als Vulcane bezeichnet, mag der Cotopaxi in Südamerika, Fig. 283, und der Vulcan der Insel Barren im Golf von Benue, Fig. 284 (a. f. S.), dienen.

Eine Erscheinung, welche derartigen Bergen ein besonderes Interesse beilegt, sind die vulcanischen Ausbrüche oder Eruptionen, welche in mehr oder minder langen Perioden der Ruhe stattfinden und deren gewöhnlicher Verlauf im Wesentlichen folgender ist: Nach vorausgegangenem irdischem Getöse, welches von einer Erschütterung des Bodens begleitet ist, entsteigen dem Krater ungeheure Massen von Wasserdampf, während zugleich ein Anwurf von erdigen, steinigen, zermalnten und

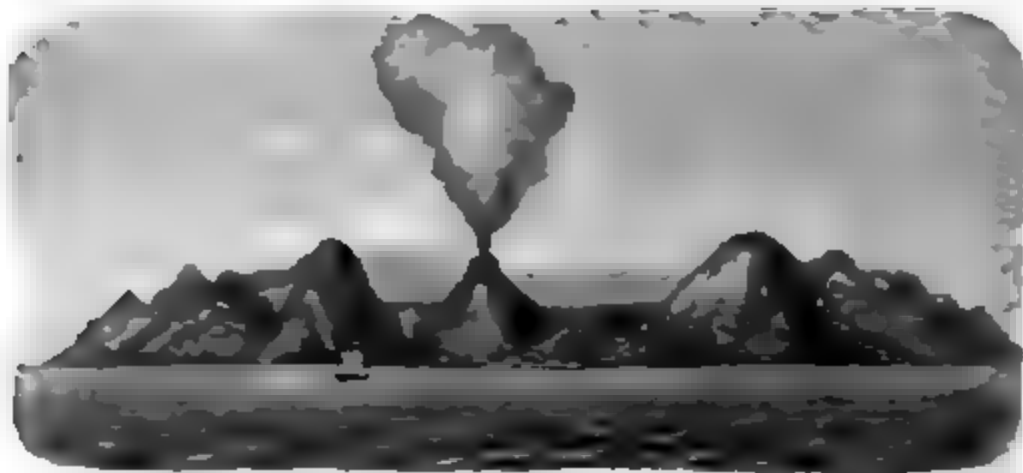
- . zerriebenen Massen, sogenannter vulcanischer Asche, stattfin-
 Häufig sind diese Erscheinungen noch, von dem Hervorbrechen geschmolzener Gesteinsmassen, der Lava, begleitet, welche, meist aus seitlich Spalten hervorquellend, an dem Abhange des Berges herabfließen.

Fig. 283.



In solchen Fällen, wo man, z. B. wie auf Stromboli, selbst während der Eruption, in den Krater hinabsehen kann, erblickt man denselben zum Theil mit geschmolzener rothglühender Lava erfüllt. Mit Dampf- und Gasblasen steigen durch die zähflüssige Masse in die Höhe.

Fig. 284



platzen mit einem paffenden Geräusch und lassen dicke weisse Dampfwolken austreten, welche glühende Lavafetzen mitreissen. Im Krater auf Hawaii befinden sich glühende Lavaseen von 500 Ma-

rchmesser, welche, beständig auf- und niederwogend, eine förmliche andung an den Kraterwänden erzeugen.

Die dem Krater entsteigenden Dämpfe breiten sich über demselben einer mächtigen Wolke aus, welcher unter Blitz und Donner ein lkenbruchartiger Regen entströmt, der in der Umgebung oft mehr baden anrichtet als die von dem Berge ausgeworfenen Schlackenmassen.

Die beim Platzen der Dampfblasen in die Höhe geschleuderten blacken bilden eine glühende Garbe, welche der pinienförmig ausgeeiteten Wolke gleichsam als Stamm dient. Dazu kommt noch, dass : aufsteigenden Dämpfe durch die glühende Lava des Kraters erleuchtet, ichtfalls wie eine Feuersäule erscheinen.

Eigentliche Flammen brechen aus dem Krater nicht hervor.

Es ist hier nicht der Ort zu einer ausführlicheren Besprechung vulnischer Eruptionen, welche mehr in das Gebiet der Geologie gehört; wir rweisen in dieser Beziehung auf Vogt's Lehrbuch der Geologie, unschweig 1871, welchem wir auch in der obigen Darstellung gefolgt id. Hier kommen die vulcanischen Erscheinungen nur als Beispiele r Reaction in Betracht, welche der innere flüssige Kern der Erde auf re äussere Rinde und Oberfläche ausübt.

Während der Eruption steht der Krater des Vulcans offenbar durch en Canal mit dem Inneren der Erde in Verbindung. In diesen Canal rd die flüssige Lavamasse durch den Druck gespannter Gase und Dämpfe hoben, welche endlich in Form von Blasen durch die geschmolzene usse hindurch ihren Ausweg in die Atmosphäre finden.

Die meisten Vulcane bieten abwechselnd Perioden der Ruhe und der ätigkeit dar, und es scheint, dass die Intensität der Ausbrüche einiger- massen im umgekehrten Verhältniss zur Häufigkeit derselben steht. Die Rigsten Ausbrüche finden stets nach einer längeren Periode der Ruhe stt. Den Vesuv betrachteten die Alten für einen ausgebrannten Vul- n, bis der pompejanische Ausbruch seine Thätigkeit mit einer Eruption eder eröffnete, welche bis jetzt ihres Gleichen an Furchtbarkeit kaum eder gehabt hat.

Auch die Höhe der Vulcane scheint mit der Häufigkeit der Ausbrüche einiger Beziehung zu stehen, indem bei niedrigen Vulcanen die Aus- üche meistens häufiger sind als bei höheren. Die Eruptionen des 925 eter hohen Stromboli finden täglich, ja fast stündlich Statt. Bei dem 1000 Meter hohen Vesuv vergeht fast kein Jahr ohne Ausbruch. Längere ertervalle bietet der 3400 Meter hohe Aetna, und der 5963 Meter hohe atopaxi zeigt durchschnittlich in einem Jahrhundert nur eine Eruption.

Erdbeben, Erderschütterungen, ähnlich denen, welche wir bereits : ein vulcanische Ausbrüche begleitendes Phänomen kennen lernten, ten hier und da mit einer Heftigkeit auf, welche die furchtbarsten Ver- erungen anzurichten im Stande ist, wie dies unter anderen folgende ispiele darthun.

Nachdem Lima schon im Jahre 1682 durch eine Erderschütterung zerstört worden war, wurde die unglückliche Stadt am 28. October 1746 abermals durch ein Erdbeben heimgesucht. In wenigen Minuten wurden 11 Kirchen, 38 Klöster und 4000 Häuser umgestürzt und in einen Trümmerhaufen verwandelt. Von den 53 000 Einwohnern retteten verhältnissmässig wenige ihr Leben.

Durch das Erdbeben, welches am 1. November 1755 in Lissabon stattfand, wurden ausser anderen Gebäuden allein 32 der grössten Kirchen umgestürzt und 30 000 Menschen unter den Trümmern begraben.

In den Monaten Februar und März des Jahres 1783 wurden Calabrien und Sicilien fast täglich durch heftige Erdstösse erschüttert, deren erster am 5. Februar Messina zerstörte. In jener Unglücksperiode wurden in den genannten Gegenden 400 Städte und Dörfer zerstört, wobei im Ganzen 100 000 Menschen umgekommen sein sollen.

Die Stadt Carracas wurde in den Jahren 1766, 1797 und 1812 durch Erdbeben verwüstet; Sicilien wurde 1818 abermals durch ein Erdbeben heimgesucht, welches namentlich die Stadt Catanea zerstörte. Im Jahre 1822 fanden heftige Erdbeben in Syrien und in Chili Statt.

Wohl jedes Jahrhundert hat eine Anzahl heftiger Erdbeben aufzuweisen, während kein Jahr vergeht, an welchem nicht an verschiedenen Orten der Erde schwächere Erdbeben vorkommen.

Man hat beinahe ohne Ausnahme bemerkt, dass die heftigsten Erdbeben zugleich die kürzesten sind; die verheerendsten Stösse sind gewöhnlich nur das Werk weniger Augenblicke. Lissabon wurde im Jahre 1755 durch drei Stösse zerstört, welche in einem Zeitraum von 6 Minuten auf einander folgten. Messina wurde im Jahre 1783 durch zwei und Carracas im Jahre 1812 durch drei Stösse zerstört, welche letztere innerhalb einer Minute stattfanden.

Jenen Hauptstössen folgen gewöhnlich andere, minder heftige Bewegungen, welche sich Wochen, ja Monate lang wiederholen. So wurden die Bewohner von Lissabon nach der erwähnten Katastrophe noch ein Jahr lang durch stets wiederkehrende Erdstösse in Furcht und Schrecken erhalten, und nach dem Erdbeben, welches im Jahre 1783 Messina zerstörte, war der Boden in Calabrien noch sechs Jahre hindurch in beständiger Aufregung.

Im Centralpunkte eines Erdbebens erleidet der Boden zunächst heftige Stösse in verticaler Richtung, welche oft noch mit Bewegungen in horizontaler Richtung combinirt erscheinen. So soll z. B. im Jahre 1783 der Erdboden in Calabrien während der Erdstösse in einer Bewegung gewesen sein, wie Sand, welcher auf einen Tisch gestreut ist, der von unten gestossen und zugleich in horizontaler Richtung hin und her gerüttelt wird. Menschen und Wohnungen wurden durch die Erdstösse in die Höhe geschleudert, um in einiger Entfernung wieder nieder zu fallen.

Ähnliche Erscheinungen werden auch von dem Erdbeben in Bomba (1797) berichtet.

Von dem Orte aus, welcher von den Hauptstössen eines Erdbebens offen wird, verbreitet sich die Erschütterung des Bodens, meist wellenförmig sich ausbreitend, auf grössere Entfernungen hin. So wurde z. B. das Erdbeben von Lissabon wenigstens auf der ganzen pyrenäischen Halbinsel verspürt und der durch dasselbe veranlasste Wellenschlag im Atlantischen Ocean verbreitete sich bis nach Westindien hin.

Das Erdbeben, welches am 15. Juli 1855 im Visper Thal (Canton Valais) Häuser und Kirchen einstürzen machte, war noch in Genf, Neuchâtel, Basel und Luzern stark genug, um leichte Beschädigungen an Gebäuden hervorzubringen und wurde überhaupt noch bis Genua, Vercelli, Dijon, Metz, Wetzlar, Koburg und Bregenz verspürt.

Am 20. März 1861 Abends 9 Uhr wurde zu Buenos Ayres am Ufer einer gerade still stehenden Uhr eine deutlich bemerkbare unregelmässige Bewegung beobachtet, während die Schwingungen eines in der Ebene von Nord nach Süd sich bewegenden Regulatorpendels, dessen gewöhnlicher Gang nur $2\frac{1}{2}$ Grad beträgt, bis auf 8 Grad wuchsen. Einige Tage später kam die Nachricht, dass an demselben Tage und zu derselben Stunde die 140 deutsche Meilen entfernte Stadt Mendoza durch ein Erdbeben zerstört worden sei.

Gleich der erste Stoss dieses Erdbebens war so stark, dass die einzigen Häuser der Stadt einstürzten und so plötzlich, dass Niemanden blieb ins Freie zu flüchten und alle Einwohner, welche gerade in ihren Wohnungen waren, erschlagen oder verschüttet wurden. Ungefähr 10000 Menschen, $\frac{3}{4}$ der ganzen Einwohnerschaft, kamen auf diese Weise um.

Durch starke Erdbeben werden nicht selten mehr oder weniger bedeutende Spalten im Boden erzeugt. So entstanden z. B. bei dem schon mehrfach erwähnten Erdbeben von Calabrien Erdspalten, welche über eine halbe Stunde lang, an 100 Fuss breit und ebenso tief waren. In mehreren Fällen zeigten die beiden Lippen solcher Spalten eine merkliche Höhendifferenz, so dass die eine oft 15 Fuss höher war als die andere, es musste also der Boden auf der einen Seite entweder gehoben oder auf der anderen gesenkt worden sein.

Nach dem Erdbeben von Chili am 20. Februar 1835 war die Oberfläche der Felsen auf der Insel Quiriquina bei Conception wie Glas zertrümmert und in einen Trümmerhaufen verwandelt.

Bei dem Erdbeben von Riobamba entstanden Klüfte, die sich abwechselnd öffneten und wieder schlossen und in welchen ganze Züge von Menschen und beladenen Maulthieren verschwanden.

Die herrschende Ansicht über Ursprung und Wesen der Erdbeben ist dahin, sie als ein mit dem Vulkanismus in engster Beziehung stehendes Phänomen zu betrachten, sie also gleichsam einer Reaction des feurig-flüssigen Erdkernes gegen die ihn einhüllende feste Erdkruste zuzuschreiben. Dies ist denn auch der Grund, warum die Erdbeben gerade hier besprochen werden.

Wenn auch bedeutende Erdbeben in nicht vulcanischen Gegenden

vorkommen, so sind doch solche Länder, in welchen sich gewaltige Vulcane vorfinden, wie Unteritalien und Südamerika, vorzugsweise von Erdbeben heimgesucht, und die allgemeine Meinung des Volkes geht dahin, dass die vulcanischen Kamine gleichsam als Sicherheitsventile für die im Inneren der Erde wirkenden explosiven Gewalten zu betrachten seien.

Bei dem furchtbaren Erdbeben von Riobamba war dieser Zusammenhang besonders auffallend. Nachdem der Vulcan von Pasto Monate lang mächtige Rauchwolken ausgestossen hatte, verschwanden dieselben plötzlich am 2. Februar 1797. Im Augenblicke des Verschwindens ereignete sich das Erdbeben, dessen Mittelpunkt, Riobamba, in gerader Linie 60 Stunden von dem Vulcan entfernt ist.

Der Vesuv war vom Jahre 1751 an ganz besonders thätig gewesen, bis im Januar 1755 eine plötzliche Ruhe eintrat. Dieser Ruhe folgte eine ununterbrochene Reihe von Erdbeben. Im Februar wurden die griechischen Inseln sowie das Küstenland des Mittelmeeres, im Juni Persien, im August England und am 1. November endlich Lissabon und die pyrenäische Halbinsel erschüttert.

Es ist aus mannigfachen Gründen wahrscheinlich, dass in den trachytischen und doleritischen Massen der Cordilleren Südamerikas zahlreiche Höhlungen vorhanden sind; darauf gründet Boussingault die Ansicht, dass die Erdbeben jener Gegenden wenigstens zum Theil durch ruckweise Senkung oder durch das Herabstürzen schwach gestützter Felsmassen veranlasst würden.

Volger, welcher die Erscheinungen des Erdbebens von Visp im Jahre 1855 besonders gründlich studirt hat, tritt der Lehre vom vulcanischen Ursprung der Erdbeben entschieden entgegen und sucht sie auf eine allmälige Auflösung der Gesteine zurückzuführen.

Die atmosphärische Feuchtigkeit, welche kohlensäurehaltig in das Innere der Gebirge eindringt, nagt unaufhörlich an den Schichten, auf welchen sie rinnt; ganz besonders sind diesem Auslaugungsprocess der kohlensaure Kalk, namentlich aber der Gyps unterworfen. Durch die Quellen werden den Gebirgen enorme Massen von kohlensaurem Kalk und Gyps entführt.

Die Menge des kohlensauren Kalkes, welche der Rhein jährlich an der Stadt Basel vorbeiführt, würde, als dichter Kalkstein berechnet, einen Würfel von 800 Fuss Seite darstellen, und diese Masse ist den Gebirgen der Schweiz entnommen.

Noch ungleich bedeutendere Massen werden durch zahlreiche warme Quellen den Gypsagern in Wallis entführt. Die Lorenzquelle allein entführt dem Gebirge jährlich eine Gypsmaße, welche als Gypsstein berechnet einen Raum von 60 000 Kubikfuss einnehmen würde; diese einzige Quelle muss also im Laufe eines Jahrhunderts einen Hohlraum zwischen den Gebirgsschichten erzeugen, welche bei einer Quadratmeile Flächeninhalt etwa 1, Fuss Höhe haben müsste.

Derartige ununterbrochene unterirdische Auslaugungen müssen aber allmähliges Einsinken und Niederbrechen der oberen Schichten zur Folge haben, welches dann die unmittelbare Ursache des Erdbebens ist. Die Erdbeben, von welchen Grossgeran (zwischen Mainz und Frankfurt) im letzten Jahre wiederholt heimgesucht wurde, bringt Mohr den zahlreichen Salzquellen in Verbindung, welche sich am Fusse des Taunusgebirges befinden (Wiesbaden, Soden, Homburg, Nauheim etc.). Nach dieser Quellen werden unterirdische Salzlager ausgelaugt und auf diese Weise Höhlungen erzeugt, deren Einstürzen jene Erdbeben zur Folge haben.

Quellentemperatur. Das als Regen, Schnee, Thau u. s. w. aus der Atmosphäre auf den Boden gelangende Wasser kehrt theilweise durch Verdunstung wieder in die Luft zurück, theilweise wird es durch den Abflussprocess consumirt, ein sehr bedeutender Theil aber sickert in den Boden ein, um an tieferen Stellen als Quellen hervorzubrechen. Wasser sickert in einem lockeren Boden nieder, bis es auf eine Lehm- oder Felsenschicht gelangt, die ein weiteres Vordringen hindert; darauf wird es nun auf diesen mehr oder weniger geneigten Schichten abfließen, bis es am Ausgange derselben als Quelle erscheint, oder es findet sich in den Felsspalten und Klüften, auf welchen es endlich wieder einen Ausweg findet. Jedenfalls nimmt das Wasser allmählig die wenig verschiedene Temperatur der Erd- und Felsschichten an, mit denen es längere Zeit in Berührung steht, und so kommt es denn, dass die Temperatur der Quellen fast das ganze Jahr hindurch ziemlich constant bleibt, wenigstens wenn sie einigermaassen wasserreich sind. Die Temperatur-Schwankungen solcher Quellen betragen im Laufe eines Jahres höchstens 2 Grad; ihre höchste Temperatur erreichen sie auf unserer Hemisphäre im September, ihre niedrigste im März.

Die mittlere Temperatur dieser Quellen ist, wie die der Erdschichten, von welchen sie kommen, meist wenig von der mittleren Lufttemperatur des Ortes verschieden, an welchem sie hervorbrechen; in der Regel ist die Quellentemperatur etwas höher, und dieser Ueberschuss steigt in hohen Breiten, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3 bis 4°; dagegen stimmen es die Beobachtungen, welche in der heissen Zone gemacht wurden, wahrscheinlich, dass dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger ist als die mittlere Lufttemperatur.

Es ist demnach klar, dass die Wärme der Quellen nicht allein nach den Polen hin, sondern auch mit der Erhebung über die Meeresfläche zunimmt, wie auch die folgenden Beispiele darthun.

Quelle zu:	Höhe über dem Meeresspiegel.	Temp
Enontekis (Lappland)	1602 par. Fuss	1
Umea (Schweden)	100 " "	2
München	1540 " "	9
Krün (Isarthal)	2520 " "	7
Rigi Kaltbad	4404 " "	6
Erste Isarquelle	5726 " "	3
Hochthor (Pass zwischen Möll- u. Rauristhal) .	8128 " "	1
Im Stollen der Goldzeche (Bergwerk auf der grossen Fleuss im Möllthale)	8858 " "	0

Die hier zusammengestellten Quellentemperaturen sind theils von Wahlenberg, theils von Schlagintweit beobachtet (Pogg. Ann. 1828).

Wenn das Wasser bis zu grösseren Tiefen unter die Erde eindringt und dann auf Canäle trifft, in welchen es durch den statischen Druck wieder in die Höhe gehoben wird, so wird es aus der Tiefe auch eine sehr hohe Temperatur mitbringen, wie man an solchen Quellen beobachtet, welche mit dem Namen Thermalquellen bezeichnet werden. In der folgenden Tabelle sind die Temperaturen einiger bekannteren Thermalquellen angegeben.

Pfäfers	37,2° C.	Baden-Baden	8
Wildbad	37,5	Wiesbaden	7
Barrèges	40,0	Karlsbad	7
Aachen 44 bis	57,5	Burtscheid	7
Bath	46,25	Katharinenquellen im Kaukasus	8
Leuck	50,2	Trincheros in Venezuela	9
Aix in Savoyen	54,3		
Fras	56,25		

Solche Quellen sind ein unwiderlegliches Zeugniß für die Temperatur, welche im Inneren des Erdkörpers herrscht.

183 Die periodischen Springquellen Islands. Ganz bemerkwürdige Erscheinungen bieten manche der zahlreichen heissen Quellen Islands dar. Die ganze Insel ist vulkanischen Ursprungs. Unablässig schneifeln decken die Kuppen der isländischen Gebirge, von denen die meisten meistentheils Gletscher herabstürzen. Ungeheure Wassermassen

aus den Spalten und Gewölben dieser Gletscher hervor oder auch in Cascaden von den Eiswänden herab. Trifft nun das abfließende Wasser auf vulcanische Klüfte und Spalten, so wird es durch jene Tiefen zugeführt, wo unter dem Einfluss der vulcanischen Wärme eine Erhitzung und Dampfbildung erfolgt. Das Wasser, vereinigte Kraft der Dämpfe und des hydrostatischen Druckes bricht alsdann in mächtigen Thermen hervor.

isländischen Mineralquellen zeichnen sich durch einen grossen Kieselerdeaus; sie zerfallen in saure und alkalische Kiesel-

Fig. 285.



len, und die letzteren sind es, deren grossartige und eigenartige Erscheinungen wir hier näher betrachten wollen.

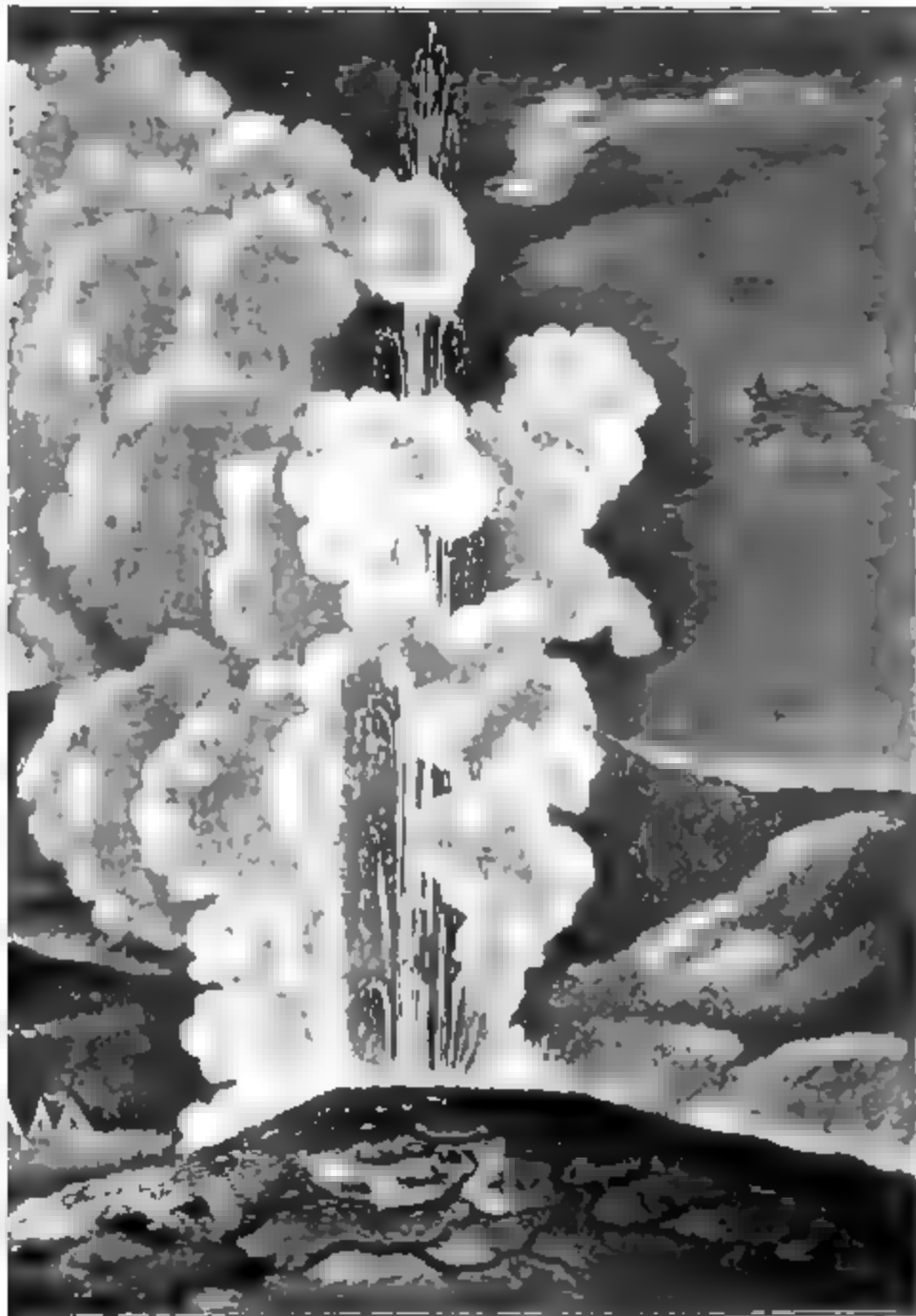
Insbesondere schwach alkalische Reaction dieser Quellen rührt von Kalien, sowie von schwefelsaurem Kali und Natron her, welche die Erde zum Lösungsmittel dienen und die für diese Quellen so charakteristischen Bildungen von Kiestuff bedingen.

Insbesondere unter den periodischen Springquellen Islands verdient der grosse Geysir. Auf dem Gipfel eines aschgrauen Kiestuff gebildeten Kegels befindet sich ein flaches Becken von

ieder ein, und nehmen alsdann ihren regelmässigen Verlauf bis zu einer grossen Eruption, welche oft mehr als einen Tag auf sich zieht.

Fig. 287 stellt eine Eruption des grossen Geysirs dar. Sie ist nach

Fig. 287.



einem getreuen Oelgemälde copirt, welches Hansen von seiner Expedition mitbrachte.

Eine hundert Schritte südwestlich vom grossen Geysir liegt eine kohlensäurehaltige Springquelle, welche der Strokkur (das Butterfass) heisst. Der Strokkur hat keinen Eruptionskegel von Kieselstein, sondern ist trichterförmig und hat oben einen Durchmesser von 7 Fuss, während er in einer Tiefe von 25 Fuss nur noch 9 Zoll weit ist. In einer Tiefe von 40 Fuss stösst das Senkblei auf Hindernisse.

Das Wasser des Strokkur steht 9 bis 12 Fuss unter der Mündung des

Trichters; es hat also keinen Abfluss und ist in einem beständigen heftigen Sieden begriffen. Die Eruptionen des Strokkur sind häufiger als die des grossen Geysirs, während die jedesmal geförderte Wassermasse ungleich geringer ist. Durch die Ausbrüche des Strokkur werden stossweise nacheinander mehrere in den feinsten Staub aufgelöste Wasserstrahlen bis zu einer Höhe von 120 bis 150 Fuss in die Höhe geschleudert, und nach einigen Minuten kleinere Strahlen das Schauspiel beschliessen.

Ganz in der Nähe des grossen Geysirs und des Strokkur liegen noch gegen vierzig heisse Quellen, welche zum Theil gleichfalls periodische Stossquellen sind, theils tiefe mit ruhigem, dunkelgrünem, heissem Wasser angefüllte Bassins bilden. Die bedeutendste unter den kleineren Springquellen spritzt ihr Wasser 20 bis 30 Fuss hoch.

Der Litli Geysir (kleine Geysir) gehört einer anderen Thermengruppe an, welche acht Meilen südwestlich vom grossen Geysir liegt. Die Eruptionen des kleinen Geysirs, welche in Zwischenräumen von 3 Stunden stattfinden, sind nicht durch ein stossweises, auf eine kurze Zeitdauer beschränktes Hervorbrechen des siedenden Wassers charakterisirt. Ihre Annäherung giebt sich durch eine allmählig zunehmende Dampfwickelung und durch ein unterirdisches plätscherndes Geräusch zu erkennen. Dann dringt kochender Wasserschaum hervor, der in langen Perioden steigend und fallend sich immer höher und höher erhebt, bis nach etwa zehn Minuten, wo die Erscheinung ihre grösste Entwickelung erreicht hat, in vertical und seitlich aufspritzenden Garben gegen bis 40 Fuss hoch emporsteigt. Dann nehmen die Strahlen an Umfang und Höhe in ähnlicher Weise ab, wie sie sich erhoben, bis die Quelle nach abermals zehn Minuten zu ihrer vorigen Ruhe zurückgekehrt ist.

194 . Erklärung des Geysirphänomens. Schon Lottin und Robert, welche im Jahre 1836 Island besuchten, haben gefunden, dass die Temperatur der Geysircolonne von oben nach unten zunimmt. Bunsen und Descloizeaux, welche im Jahre 1846 mehrere Monate auf Island zubrachten, haben durch zahlreiche Messungen die Temperaturverhältnisse des grossen Geysirs auf das Genaueste ermittelt, und dadurch den Grund zu der schönen Theorie der Geysir-Eruptionen gelegt, auf welche Bunsen die Wissenschaft bereichert hat.

An der Oberfläche ist die Temperatur des Wassers im Geysirbecken ziemlich veränderlich und von den Witterungsverhältnissen abhängig; im Mittel beträgt sie 85° C.

Innerhalb des Geysirrohrs steigt die Temperatur, kleine Stangen abgerechnet, an jedem Punkte der Säule fortwährend von einer Eruption bis zur nächsten, wie man aus folgender Tabelle ersieht, welche die Resultate einer Beobachtungsreihe enthält.

Fuss über dem Boden.	23 Stunden	5½ Stunden	10 Minuten	Siedepunkt für d. jedesmaligen Druck.
	vor einer grossen Eruption.			
Fuss . . .	123,6° C.	127,5° C.	126,5° C.	136,0° C.
" . . .	113,0	120,4	121,8	124,2
" . . .	85,8	106,4	110,0	117,4
" . . .	82,6	85,2	84,7	107,0

Von unten her tritt also durch Canäle, deren Verlauf man nicht weiter verfolgen kann, das weit über 100° erhitzte Wasser langsam in das Geysirrohr ein, während an der Oberfläche des Beckens eine fortwährende Abkühlung stattfindet. Eine Folge davon ist, dass das heisse Wasser in der Mitte des Rohres aufsteigt, sich an der Oberfläche des Beckens gegen den Rand hin verbreitet und dann abgekühlt an dem Boden des Beckens nach der Röhre zurückfliesst.

Aus der Betrachtung der obigen Tabelle ersieht man nun, dass das Wasser an keiner Stelle und zu keiner Zeit eine so hohe Temperatur erreicht, wie sie erforderlich wäre, damit das Wasser bei dem auf ihr lastenden Drucke ins Kochen gerathen könnte.

Einen Fuss über dem Boden z. B. hat das Wasser ausser dem Druck der Atmosphäre noch eine Wassersäule von 69 Fuss zu tragen; bei diesem Druck aber müsste es bis auf 136° erhitzt werden, wenn das Kochen beginnen sollte, während seine Temperatur hier 10 Minuten vor einer grossen Eruption nur 126,5°, also 9,5° unter dem entsprechenden Siedepunkte war.

In einer Tiefe von 50 Fuss, also 20 Fuss über dem Boden, wurde vor einer grossen Eruption die Temperatur des Wassers gleich 121,8°, also nur 2,4° niedriger gefunden als der Siedepunkt (124,2°), welcher dem auf dieser Stelle lastenden Druck entspricht.

Obgleich nun die Temperatur des Wassers im Geysirrohre im Allgemeinen nicht den dem Druck entsprechenden Siedepunkt erreicht, so können doch von Zeit zu Zeit einzelne Wasserparthien noch heiss genug in die höheren Schichten ankommen, um Dampfblasen zu bilden, die aber bei weiterem Aufsteigen in die kälteren Schichten alsbald wieder verflüchtigt werden. Auf diese Weise entstehen dann die unterirdischen Detonationen und die Anschwellungen des Wassers im Geysirrohre, welche im vorigen Paragraphen erwähnt wurden.

Durch eine Bildung von Dampfblasen wird aber die Wärme gebunden, die Temperatur der Wasserschichten, aus welchen die Dampfblase sich entwickelt, wird so weit erniedrigt, dass einige Zeit vergeht, bevor eine neue Blasenbildung erfolgen kann. Deshalb folgt auf jede mit einer Aufwallung im Becken begleitete Detonation eine Zeit der Ruhe.

Allmählig nimmt aber die Temperatur des Wassers an allen Stellen

des Geysirrohrs zu, die Dampfblasen werden grösser und mächtiger, dass sie theilweise noch die Oberfläche des Wassers erreichen. Endlich werden die Dampfblasen mächtig genug, um eine bedeutende Wassermasse aus dem Geysirrohre hinauszuschleudern, und dies ist der erste Anstoss zu einer grossen Eruption. Indem nämlich durch die Dampfblasen ein Theil der Wassersäule aus dem Rohre hinausgedrückt wird, wird der Druck, welcher auf den tieferen Schichten lastet, weit vermindert, dass auf einmal eine so massenhafte Dampfentwicklung stattfindet, wie sie nothwendig ist, um die Eruptionen zu bewirken, wie wir oben kennen lernten.

Wenn z. B. eine mächtige Dampfblase so viel Wasser aus dem Rohre hinaustreibt, dass die auf den tieferen Schichten lastende Wassersäule dadurch um 5 bis 6 Fuss verkürzt wird, so wird der Druck, welcher auf der 20 Fuss über dem Boden sich befindenden Wasserschicht lastet, weit vermindert, dass dieselbe schon bei einer Temperatur von unter 120° ins Kochen gerathen kann. Da nun aber an dieser Stelle das Wasser, wie wir oben gesehen haben, die Temperatur von 121,8° hat, ist klar, dass nun hier eine so mächtige Dampfentwicklung stattfinden muss, dass von Neuem ungeheure Wassermassen aus dem Rohre in die Höhe geschleudert werden. Dadurch werden aber auch die nächsten Schichten ins Kochen gebracht, welche noch grössere Wassermassen in die Höhe treiben, bis endlich die im Rohre aufgespart gewesene Dampfkraft so weit consumirt ist, dass keine weitere Dampfbildung mehr stattfinden kann.

Nur theilweise fällt das abgekühlte Wasser in das Bassin, ohne es jedoch ausfüllen zu können. Die ganze Wassersäule ist stark abgekühlt, dass erst nach 4 bis 5 Stunden die erwähnten Eruptionen wieder eintreten können.

Der Sitz der Kraft, welcher die in kochenden Schaum verwandelte Wassermasse emporschleudert, ist also in dem Geysirrohre selbst, nicht, wie man früher glaubte, in unterirdischen Höhlungen zu suchen, welche abwechselnd bald mit Wasser, bald mit Dampf gefüllt sein können.

Wenn Bunsen's Erklärung der Geysir-Eruptionen die wir oben sahen, wenn er die Bedingungen des Phänomens richtig erkannt hat, so kann man auch im Stande sein, sie nachzuahmen. Der Apparat, den ich zu diesem Zwecke construirt habe, ist in Fig. 288 abgebildet. Eine ungefähr 5 Fuss hohe Blechröhre von 5 Zoll Durchmesser ist unten geschlossen, und mündet oben in ein flaches Becken von Blech, welches etwa 2 Fuss im Durchmesser hat. Ungefähr in der Mitte seiner Höhe ist in diesem Rohre ein von durchlöchertem Blech gebildetes Kohlenbecken festigt. Der ganze Apparat wird durch einen hölzernen Ring gehalten, welcher auf drei Beinen ruht.

Das Rohr wird ungefähr bis zu seiner Mündung in das Becken mit Wasser gefüllt, sein unteres Ende in einen mit glühenden Kohlen

an Ofen gesenkt und auch der mittlere Kohlenbehälter mit glühenden gefüllt.

Wassermasse zwischen den beiden Kohlenbecken wird nun nach

Fig. 288.



einiger Zeit bis zu der Siedetemperatur erwärmt sein, welche dem auf ihr lastenden Druck entspricht. Beginnt nun an der Stelle des oberen Kohlenbeckens die Dampfbildung, so werden die ersten Dampfblasen nur ein Aufwallen des Wassers im Becken bewirken, bis endlich, nach einigen solchen, gleichsam vergeblichen Versuchen, eine Eruption erfolgt, welche das siedende Wasser 2 bis 3 Fuss hoch über das Bassin in die Höhe schleudert.

Betrachten wir nun zum Schlusse noch die Bildung des Geysirrohrs. Der Quellenboden ist aus Tuff gebildet, welcher durch das heisse Wasser zerlegt wird. Besonders unter dem Einflusse des kohlensauren Natrons und Kalis wird die Kieselerde gelöst,

so ursprüngliche Gesteinsmasse in ein Thonlager verwandelt, welches von den Kieselincrustationen der Quelle bedeckt ist.

Gehalt des Geysirwassers an kohlensaurem Kali und Natron bleibt es selbst vollständig erkaltet noch klar bleibt und eine Ausfällung der Kieselerde erst bei vollständiger Verdampfung des Wassers. Daher kommt es denn, dass das Quellenbassin selbst von Kiefern frei bleiben muss, während seine den Wasserspiegel überragenden Ränder, an denen die durch Capillarität eingesogene Flüssigkeit schnell verdampft, sich mit einer Kieselkruste überkleidet.

Auf diese Weise baut sich das Quellenbassin, indem es sich mit einer Kruste von Kieselsinter umgibt, zu einer tiefen Röhre auf, die, wenn sie eine gewisse Höhe erreicht hat, alle Bedingungen in sich vereinigt, um in einen Geysir, d. h. in eine Springquelle zu verwandeln. Die Kieselinterbildungen schreiten aber unaufhörlich fort, bis sie im Laufe der Jahrhunderte eine Höhe erreicht haben, welche der Thätigkeit der Quelle ein Ziel setzt, wenn endlich die von ununterbrochener Wärme nicht mehr hinreichend ist, um bei dem erhöhten

Druck an irgend einer Stelle des Rohrs eine Dampfbildung zu bewirken. Es entstehen dann grosse, mit heissem Wasser gefüllte Tuff-

höhlen oberhalb des gegenwärtig in voller Thätigkeit begriffenen Geysirs. In der Nähe des grossen Geysirs erblickt man noch mehrere solcher

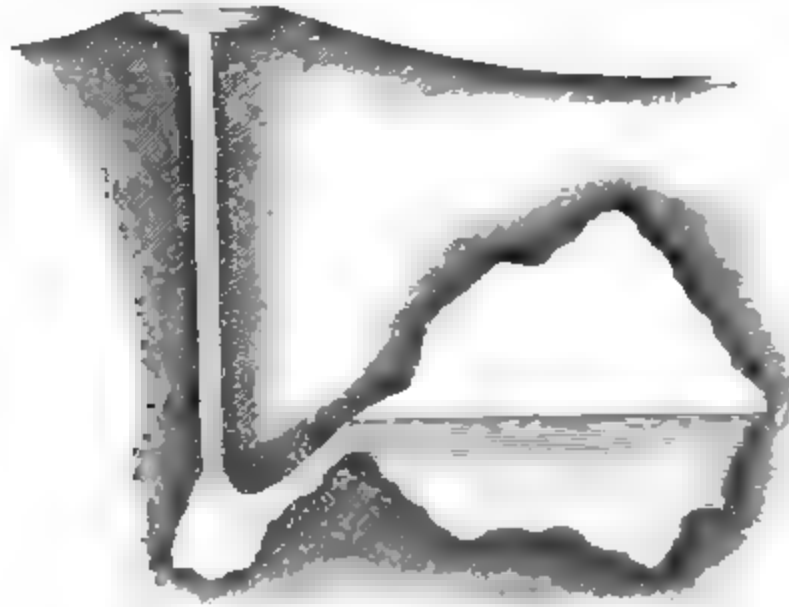
mit heissem Wasser gefüllter Behälter, in deren Tiefe man noch die Geysirmündungen durchschimmern sieht.

Die Eruptionen des Strokkir kommen wahrscheinlich in ähnlicher Weise zu Stande, wie die des grossen Geysirs, aber jedenfalls mit einer Kraft, welche das Wasser in die Höhe schleudert, ihren Sitz in einer grösseren, für directe Versuche unzugänglichen Tiefe.

Anders verhält es sich mit dem Litli Geysir, dessen Eruptionen von der Art sind, dass sie mit der von Makenzie zuerst aufgestellten Hypothese unterirdischer Dampfkessel, welche man auch recht zur Erklärung der Eruptionen des grossen Geysirs hat, in völligem Einklang stehen.

Fig. 289 dient dazu, die ältere Geysirtheorie zu erläutern, wie eine Eruption erfolgt, wenn die in der seitlichen Höhlung angesammelten

Fig. 289.



Dämpfe hinlängliche Spannkraft erlangt haben, um sich einzuweichen und durch das Geysirrohr zu erzwingen.

193 Die heissen Quellen Neuseelands. Während sich die Südinsel Neuseelands ein riesiges Alpengebirge mit schneebedeckten Kämmen und Gipfeln erhebt, ist die Nordinsel durchaus vulkanisch und es ist hier das Phänomen der heissen Quellen in einer einzigartigen Weise entwickelt, wie man ausser dem fast diametral gegenüberliegenden Island nichts Aehnliches mehr auf der Erde findet.

Ungefähr im Mittelpunkte des breiteren Theiles der Nordinsel liegt der Taupo-See (5 1/2 deutsche Meilen lang, 4 1/2 Meilen breit), 1200 Fuss über dem Meere.

An der Südspitze des Sees erhebt sich eine Gruppe von Bergen, von denen Pihanga und Kakarama (3500 und 2900 Fuss über dem Meere) die höchsten sind. Beide Krater gelten als erloschen, die vulcanischen Kräfte der Tiefe sind noch keineswegs zur Ruhe gekommen.

kommen, denn am nördlichen Abhang und am Fusse des Kakaramea dampft, brodet und kocht es an mehr als hundert Stellen.

Der ganze nördliche Abhang des Kakaramea-Berges scheint von heissem Wasser weich gekocht und im Abrutschen begriffen zu sein. Aus allen Sprüngen und Klüften dieser Bergseite strömt heisser Wasserdampf und kochendes Wasser mit einem fortwährenden Getöse, als wären Hunderte von Dampfmaschinen im Gange.

Das Hauptquellengebiet dieser Gegend liegt jedoch am Nordwestabhang des Pihanga bei dem Maori-Dorf (Maori ist der Name der eingeborenen Bevölkerung) Tokanu an dem Flusse gleiches Namens.

Die gewaltige, weithin am See sichtbare Dampfsäule, die man bei Tokanu aufsteigen sieht, gehört dem grossen Sprudel Priori an. Aus einem tiefen Loch an der linken Uferwand des Tokanu-Flusses steigt eine siedend heisse Wassersäule von 2 Fuss Durchmesser, stets unter starker Dampfbildung 6 bis 10 Fuss hoch wirbelnd in die Höhe. Nach Aussage der Eingeborenen soll das Wasser oft mit gewaltigem Getöse mehr als 40 Fuss hoch ausgeworfen werden. In der Nähe des Priori-Sprudels befinden sich zahlreiche mit chalcedonartigem Kieselsinter überzogene Kessel, welche mit fortwährend kochendem, klarem Wasser oder mit einem graulich weissen Schlamm gefüllt sind. Ein solcher Kessel, welchen Hochstetter nur als kochenden Schlammfuhl sah, soll nach Aussage der Eingeborenen im Jahre 1848 ein immenser Geysir gewesen sein, der eine heisse Wassersäule gegen hundert Fuss hoch ausgeworfen habe, so dass das Dorf übergossen wurde. — Auch aus anderen Wahrnehmungen geht hervor, dass in diesem Quellengebiet fortwährend Veränderungen vor sich gehen.

Eine zwei bis drei Fuss dicke mitunter völlig opalartige Decke von Kieselsinter, unter der feiner Thonschlamm liegt, bedeckt den grösseren Theil des Quellengebietes. In kleineren Löchern, wo nur heisser Wasserdampf ausströmt, steigt das Thermometer auf 98° C. Die Eingeborenen benutzen solche Dampföcher zum Kochen und haben besondere Hütten für den Winter, die auf warmem Grunde errichtet sind. Sie nennen die heissen Quellen Puia und unterscheiden Papa-Puia, die Quellen mit klarem Wasser, welche Kieselsinter absetzen, und Uku-Puia, die kochenden Schlammföhle und kleinen Schlammvulcane. Die zum Baden geeigneten Quellen, deren Wasser nie die Siedehitze erreicht, und alle warmen Bäder heissen Waiariki.

Wie das Südende, so ist auch das nördliche Ende des Sees durch warme Quellen bemerkenswerth, welche am Fusse des malerischen Taupara-Berges entspringen. Wohl auf eine Meile Erstreckung, dem Ufer entlang, dampft der See, als wäre es ein See heissen Wassers. Hochstetter fand hier die Temperatur des Seewassers gleich 38° C.

Der nördlichsten Spitze des Taupa-Sees entströmt der Waikato, welcher alsbald zum mächtigsten Strom der Nordinsel anschwillt. Nach seinem Ausfluss aus dem Taupo-See strömt er ungefähr 4 Meilen weit

in nordöstlicher Richtung hin, um sich alsdann in einem grossen Bogen nordwestlich zu wenden und in ein Bergland einzutreten, welches durch eine enger Felsschlucht durchbrochen hat. Hier nun befinden sich die Quellen von Orakeikorako, welche eines der interessantesten Quellengebiete jener Gegend bilden. Hochstetter beschreibt das Schauspiel, welches sich ihm hier darbot, in folgender Weise:

„Reissenden Laufes, Stromschnelle hinter Stromschnelle hülsen sich der Waikato durch ein enges, tief zwischen steil emporragenden Bergen eingerissenes Thal; — an den Ufern aber steigen weisse Dampf wolken auf, von heissen Cascaden, die in den Fluss stürzen und von Kesseln siedenden Wassers, die von weissen Steinmassen umschlossen sind. Dort steigt eine dampfende Fontaine in die Höhe und sinkt wieder nieder; jetzt erhebt sich an einer anderen Stelle eine andere Fontaine. Auch diese hört auf, dort aber fangen zwei zu gleich an zu springen, die eine ganz unten am Flussufer, die andere gegenüber auf einer Terrasse, und so dauert das Schauspiel wechselnd fort. — Ich fing an, alle die einzelnen Stellen zu zählen, wo ein kochendes Wasserbecken sichtbar war oder wo eine Dampf wolke ein solches andeutete. Ich zählte 76 solcher Punkte, ohne jedoch das ganze Gebiet übersehen zu können, und darunter sind viele intermittirende geysirähnliche Quellen, welche periodische Wassereruptionen haben.

„Dieses Quellengebiet erstreckt sich dem Waikato entlang etwa eine englische Meile weit an beiden Ufern des Flusses. Der grössere Theil der Quellen liegt am rechten Ufer, ist aber äusserst schwer zu erreichen. — Ich musste mich auf eine nähere Besichtigung der am linken Flussufer dicht unter dem Dorfe (Orakeikorako) liegenden Quellen beschränken.

„Eine grosse 120 Schritt lange und eben so breite, aus weissen Kieselsteinen bestehende Felsplatte, die sich bis in den Waikato hinein erstreckt, eine wahre Sprudelschale, umfasst einige der merkwürdigsten und bedeutendsten Quellen des ganzen Gebiets, vor allem die Puia tea und die Homaiterangi. Sie liegt nicht am Flussufer auf einem blauen, sondern auf einem erhobenen Theile der Sprudelschale. — Meine Reisegefährten H. H. und Hay wollten sich am frühen Morgen den Genuss eines Bades im Waikato verschaffen und hatten eben ihre Kleider in der Nähe eines kochend siedenden Wassers niedergelegt, als sie plötzlich neben sich heftige Detonationen vernahmen und sahen wie das Wasser im Bache mächtig aufwallte. Entsetzt sprangen sie zurück und hatten noch Zeit, einem Geschick standhaft heissen Wassers zu entrinnen: aus dem Bassen wurde jetzt unter Lachen und Brausen eine dampfende Wassermauer in die Höhe geschossen, welche gegen 20 Fuss in die Höhe gewaltig emporragte. Aufmerksam beobachtend sah meine Gefährten ihr Aentzeln mit dem kochend siedenden Geysir, als sich aber zur Stelle kam, lagerte wieder alles ruhig und es kam 4 bis 5 Fuss weiten kesselförmigen Becken sah sich kryallines Wasser zur Höhe aufwallen. Es n

Temperatur von 94° C. — — — Die erste Wasser-Eruption, welche selbst beobachtete, erfolgte um 11 Uhr 20 Minuten Vormittags. Das Becken war kurz vor der Eruption bis zum Rande voll. Unter deutlich hörbarem, murmelndem Geräusche in der Tiefe des Beckens kam Wasser in immer heftigeres Kochen und wurde dann plötzlich unter einem Winkel von 70° in südöstlicher Richtung 20 bis 30 Fuss hoch geworfen. Mit dem Wasser brachen unter zischendem Gebräuse gewaltige Dampfmassen aus dem Kessel hervor, welche die Wassergarbe weisse verhüllten. Dies dauerte $1\frac{1}{2}$ Minuten, dann nahm die ausströmende Kraft ab, das Wasser sprang nur 1 bis 2 Fuss hoch und nach wenigen Minuten hörte unter einem dumpfen gurgelnden Geräusch das Wasser ganz auf. Als ich jetzt an das Bassin herantrat, war es leer und ich konnte acht Fuss tief hinabschauen in ein trichterförmig sich verengendes Loch, aus dem unter Zischen Wasserdampf entwich.

„Allmählig stieg das Wasser wieder; nach zehn Minuten war das Becken von Neuem voll und um 1 Uhr 36 Minuten fand eine zweite, um 3 Uhr 10 Minuten eine dritte Eruption statt.

„Der Absatz dieser, wie aller umliegenden Quellen ist Kieselsäure. Der frische Absatz ist gelatinartig; allmählig erhärtet er zu einer steinartigen, sandig sich anführenden Masse und endlich bildet sich aus den über einander abgelagerten Schichten ein festes Gestein von der mannigfaltigsten Beschaffenheit in Farbe und Structur an verschiedenen Stellen. — — —

„Die Hauptquelle, welcher jene grosse Sprudelschale vorzugsweise Entstehung verdankt, liegt dicht am Fusse der aufsteigenden Hügel. Es ist ein gewaltiger, beständig 2 bis 3 Fuss hoch aufwallender Sprudel, dessen klares Wasser eine Temperatur von 98° C. besitzt. — Der mich begleitende Häuptling erzählte mir, dass dieser Sprudel nach dem Erdbeben von Wellington im Jahre 1848 zwei Jahre lang ein Geysir gewesen sei, der gegen 100 Fuss hoch sprang und mit grosser Gewalt grosse Steine, wenn man sie hineinwarf, wieder ausschleuderte. In der Nähe liegende kleinere Bassins werden durch den Abfluss des Sprudels gefüllt und bilden vortreffliche natürliche Bäder.

„Zu beiden Seiten des beschriebenen Sprudelgebietes flussauf- und flussabwärts liegen, im Gebüsche der Uferbänke verborgen, zahlreiche stehende Schlammtümpel, denen man sich nur mit der grössten Vorsicht nähern kann, da der erweichte, von keiner Sinterdecke geschützte Boden nachgibt. — — —

„Am gegenüberliegenden Flussufer liegt die Puia-Tuhi-tarata. Der Abfluss aus einem Kessel voll lichtblau schillernden Wassers bildet eine dampfende Cascade über eine in grossen Terrassen zum Fluss abfallende und in den buntesten Farben, weiss, roth und gelb schillernde Schichtablagerung. Dasselbe Schauspiel wiederholt sich flussaufwärts bis sechsmal, und dazwischen bemerkt man Punkte, wo periodische

Eruptionen stattfinden, hier alle fünf, an anderen Stellen alle zehn
nuten. — —“

Sieben Meilen nordöstlich vom Taupo-See liegen nahe zusammen einige kleinere Seen, welche durch landschaftliche Schönheit ausgezeichnet sind und von denen der Rotorua, der westlichste, einer der grössten ist. Am Südende des Rotorua befindet sich ein weiteres Geysirgebiet. Die Hauptquellen liegen am rechten Ufer des Puarenga-Baches. Von diesen bis acht derselben haben periodische Wasser-Eruptionen, sind geysirähnliche Springquellen. Bisweilen soll es vorkommen, dass sie zusammen spielen. Hochstetter war nicht so glücklich, ein solches Schauspiel mit anzusehen, sondern musste sich begnügen, eine Eruption des Waikito-Sprudels zu beobachten. Die Mündung des Springers liegt auf der Spitze eines von der Quelle selbst erbauten kleinen Sinterkegels von etwa 100 Fuss Durchmesser und 15 Fuss Höhe, der zwischen grünem Manuka- und Farngebüsch liegend einen sehr malerischen Anblick gewährt. Der Kegel besteht aus weissem Kieselstein, hat aber viele Risse und Löcher, die alle mit zierlichen Schwefelkrusten incrustirt sind; die heissen Dämpfe, welche aus diesen Löchern strömen, riechen indess weder nach schwefeliger Säure, noch nach Schwefelwasserstoff, sondern nur nach sublimirtem Schwefel. — In Pausen ungefähr 8 Minuten wirft der Waikito eine 2 bis 3 Fuss dicke Wassersäule 6 bis 8 Fuss hoch aus. Im Januar und Februar aber zeigt er sich in seiner ganzen Glorie und 30 bis 35 Fuss hoch springt er.

Dieses heisse Quellengebiet erstreckt sich vom Whakarewareware-Laufe des Puarengabaches entlang $1\frac{1}{2}$ (engl.) Meilen weit bis zur kleinen Bucht des Rotorua-Sees. Die Anzahl der kleineren Sprudel, kochenden Schlammkessel, der Schlammvulcane und Solfataren, die in diesem Gebiete liegen, muss nach Hunderten gezählt werden.

Wenden wir uns nun zum Schluss zum berühmten Rotomahana, dessen Wunder alles andere weit übertreffen, was Neuseeland an heißen Quellen bietet.

Der Rotomahana, d. h. der warme See, liegt im Südwesten des Seelandes und zwar südlich vom Tarawera-See. Er ist ungefähr 1000 Fuss (nicht ganz $\frac{1}{4}$ deutsche Meile) lang und etwa 1400 Fuss breit. Ausser einer grossen Anzahl kleinerer heisser Quellen, welche an einzelnen Punkten zu Tage treten, liegen um den Rotomahana etwa 10 grössere Quellenbassins, deren heisses Wasser in den See strömt, durch dasselbe so erwärmt wird, dass es am Nordende als ein Bad von 26° C. abströmt, während am Südende Bäche von 9 bis 10° C. strömen.

Das Hauptinteresse knüpft sich an das östliche Ufer des Sees. Hier liegen die bedeutendsten Quellen, unter welchen Te Tarata am östlichen Ende des Sees oben an steht. Dieser gewaltige kochende Sprudel mit seinen weit in den See hineinragenden Sinterterrassen ist die wunderbarste unter den Wundern des Rotomahana. Etwa 80 Fuss

dem See, an einem farnbewachsenen Hügelabhang, an welchem an reichen durch Eisenoxyd gerötheten Stellen heisse Wasserdämpfe entweichen, liegt in einem kraterförmigen, nach der Seeseite offenen Kessel steilen, 30 bis 40 Fuss hohen Wänden das grosse Hauptbassin des Sees. Es ist 80 Fuss lang und 60 Fuss breit und bis zum Rande gefüllt mit vollkommen klarem Wasser, welches in dem schneeweiss überbauten Becken wunderschön blau erscheint. Am Rande des Bassins steigt die Temperatur von 84° C., in der Mitte aber, wo das Wasser fortwährend mehrere Fuss hoch aufwallt, wird es die Siedetemperatur haben. Ungeheure Dampf wolken wirbeln auf und verhindern meist den Ueberblick der ganzen Wasserfläche.

Der Eingeborene, welcher Hochstetter als Führer diente, versicherte, dass bisweilen plötzlich die ganze Wassermasse mit ungeheurer Gewalt aufgeworfen werde und dass man alsdann 30 Fuss tief in das leere Bassin blicken könne, welches sich aber sehr schnell wieder fülle. Nur bei starkem, lange anhaltendem Ostwinde sollen solche Eruptionen vorkommen.

Das Wasser reagirt neutral, hat einen schwach salzigen Geschmack und besitzt in hohem Grade die Eigenschaft, zu übersintern und zu incrustiren. Der Absatz ist, wie bei den isländischen Quellen, Kieselstein, Kieseltuff und der Abfluss des Sprudels hat am Abhang des Hügels ein System von Kieselstein-Terrassen gebildet, welche weiss, wie aus Marmor gehauen, einen Anblick gewähren, den keine Beschreibung und kein Bild wiederzugeben vermag. Es ist als ob ein über Stufen herabfallender Wasserfall plötzlich in Stein verwandelt worden wäre.

Der flach sich ausbreitende Fuss reicht weit in den Rotomahana hinein. Darauf beginnen die Terrassen mit niederen Absätzen, welche kleine Wasserbassins tragen. Je höher nach oben, desto höher werden die Terrassen, 2, 3, manche auch 4 bis 6 Fuss hoch. Sie sind von einer Anzahl halbrunder Stufen oder Becken gebildet, von welchen sich jedoch je zwei in ganz gleicher Höhe befinden. Jede dieser Stufen hat einen hohen erhabenen Rand, von welchem zarte Tropfsteinbildungen auf die obere Stufe herabhängen und eine bald schmälere, bald breitere Plattform bilden, welche ein oder mehrere, im schönsten Blau schimmernde Wasserbassins umschliesst. Diese Wasserbecken bilden eben so viele natürliche Wasserbassins, welche der raffinirteste Luxus nicht prächtiger und bequemer hätte herstellen können. Einige der Becken sind so gross, dass man darin herumschwimmen kann.

Vom Fusse der Tatarataquellen führt durch das Buschwerk am Hügelabhang hin ein Pfad nach dem grossen Ngahapu-Sprudel. Er ist von dichtem Gebüsch umschlossen, ungefähr 10 Fuss über dem See. Eine riesige Dampfsäule, welche stets von ihm aufsteigt, verräth seine Nähe schon aus der Entfernung. Das Becken ist oval, 40 Fuss lang, 30 Fuss breit, das Wasser in demselben ist klar, aber fast immer in furchtbare Aufregung; nur wenige Secunden lang ist es ruhig im Kessel;

dann wallt es wieder auf, bald mehr auf dieser, bald mehr auf jener Seite, es schäumt weiss auf, das Wasser wird 8 bis 10 Fuss hoch in die Höhe geworfen und eine furchtbare Brandung von kochend heissen Wellen stürmt mit Gebräuse an die Wände des Bassins.

Mit Uebergang aller übrigen wenden wir uns schliesslich zu dem grossen am Westufer gelegenen Terrassensprudel Otukapirangi. Die Stufen reichen bis zum See, die Terrassen sind jedoch nicht so grossartig wie die Tatarata-Terrassen, dagegen zierlicher und feiner in ihrer Bildung. Die Plattform liegt 60 Fuss über dem See und 100 Schritte lang und breit. Sie trägt zierliche 3 bis 5 Fuss tiefe Bassins mit Wasser von 30 bis 40° C. Im Hintergrunde aber liegt in einem Krater das grosse Quellbecken, 40 bis 50 Fuss im Durchmesser wahrscheinlich sehr tief. Es ist ein ruhiger, blau scheinender, nur kochender, aber nicht aufkochender Wasserspiegel. Das Wasser hat eine Temperatur von 80° C. und die aufsteigenden Dämpfe riechen nach schwefliger Säure. Rings um das Bassin bemerkt man gelben Schwefelanflug und an den Seitenwänden des Wasserkraters hat sich Schwefel stellenweise in dicken Krusten abgelagert.

Am grossartigsten jedoch zeigt sich die Solfatarenthätigkeit am nördlichen Fuss der Terrassen in der Solfatare Ta Whakatarata. Er ist ein kraterähnlicher, gegen den See offener Kessel voll mit gelblich weissen und schlammigen Wassers, welches stark sauer reagiert, ein wahrer Schwefelsee, von dem sich ein heisser, schlammiger Strom in den See ergiesst. In den Klüften der den Schwefelsee einschliessenden Wände findet man prachtvolle Schwefelkrystalle abgesetzt.

196 Temperatur der Seen und Flüsse. In den Seen erleiden die obersten Wasserschichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen, sie können im Winter zufrieren, während sie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25° erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht Statt. Saussure hat in dieser Beziehung die meisten Seen der Selkirk untersucht und die merkwürdige Thatsache bestätigt, dass in grossen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5° C. beträgt.

Im Sommer wirken zwei Ursachen, um die Temperatur der obersten Wasserschichten zu erhöhen: die warme Luft streicht über den Wasserspiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen werden, indem sie mehr oder weniger tief in das Wasser dringen, von dem Wasser absorbirt. Die erwärmten Schichten mischen sich durch die Wellenbewegung, sie mischen sich aber nicht mit den Gewässern der Tiefe, weil sie wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmen, weil selbst die heftigste Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Vermischung merklich ist. Im Sommer und im Herbst muss also die Temperatur des Wassers in der Tiefe niedriger sein als an der Oberfläche.

Im Winter erkälten die obersten Wasserschichten, weil sie mit der kalten Luft in Berührung sind und weil sie namentlich in der Nacht

Wärme ausstrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, sie sinkt nieder und mischt sich mit dem wärmeren Wasser der tieferen Schichten; sobald sie sinkt, wird sie durch eine andere ersetzt, welche ebenfalls erkaltet und niedersinkt u. s. w. Wenn das Wasser kein Dichtigkeitsmaximum hätte, so würden auch im Winter die tiefsten Schichten die kältesten sein, die Oberfläche könnte also nicht eher die Temperatur von 4,1° C. annehmen, als bis die ganze Wassermasse bis auf den Boden eben so kalt erkaltet wäre, und die Folge davon würde sein, dass die Seen bis auf den Grund zufrieren müssten. Weil das Wasser aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, ist der Hergang ein anderer. Sobald die obersten Wasserschichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, sinken sie nieder, andere Wassertheilchen treten an ihre Stelle, und geht es fort, bis die ganze Wassermasse diese Temperatur hat. Wenn dies der Fall ist, die Kälte noch fort dauert, so wird die obere Wasserschicht durch ferneres Erkalten leichter; sie wird also fort und fort erkalten können, ohne niederzusinken; nun nimmt die Temperatur mit der Tiefe zu bis zu 4,1° C. Aus diesem Grunde findet auch die Eiseisbildung auf der Oberfläche Statt, die Dicke der Eisschicht kann nur langsam zunehmen und nie eine bedeutende Stärke erlangen.

Diese Betrachtung zeigt uns auch, dass ruhige und sehr tiefe Gewässer nur dann zufrieren können, wenn eine strenge Kälte längere Zeit währt; denn die ganze Wassermasse, welche während des Sommers über die ganze Tiefe erwärmt worden ist, muss nach und nach an die Oberfläche steigen, da ihren Wärmeüberschuss abzugeben; und wenn die wärmere Wassermasse eine Tiefe von 500 bis 600 Fuss hat, so ist klar, dass unter gleichen Umständen eine weit längere Zeit nöthig ist, damit alle wärmeren Wassertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche steigen, da bis zu 4,1° zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 20 bis 30 Fuss beträgt. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringerer Tiefe kann sich deshalb auch leicht eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Wassers vom Eise frei bleibt.

Es ist nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers dringen kann. Bis jetzt hat man darüber nur sehr unvollständige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von 500 Fuss merklich, so müsste ein 10 000 Fuss tiefer See nicht so leicht zufrieren wie ein anderer, welcher nur 500 Fuss tief ist; in bei dem ersteren hat ja alles Wasser, welches mehr als 500 Fuss unter dem Spiegel sich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann also auf die Erscheinungen der obersten Wasserschichten in keiner Weise wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Wassermasse eines Sees die Temperatur von 4,1° haben muss, so muss dasselbe nach dem Aufhören ebenfalls stattfinden, bevor die Temperatur der obersten Wasserschichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums steigen kann.

In den Flüssen ist natürlich wegen der beständigen Bewegung, welche die Wasserschichten verschiedener Temperatur fortwährend mischt, die Vertheilung der Wärme weniger regelmässig als in den Landseen. Das Gefrieren beginnt in der Regel am Ufer; doch beobachtet man auch häufig, dass sich die Eisschollen mitten im Strome bilden und, anfangs ganz klein, bald eine bedeutende Grösse erlangen. Eine sehr auffallende Erscheinung ist die Bildung von Grundeis in den Flüssen; diese Eibildung findet nicht auf der Oberfläche, sondern auf dem Boden Statt; wenn das am Boden gebildete Eis aufsteigt, so hebt es Steine und sonstige Gegenstände vom Boden mit in die Höhe; im Rheine werden oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Die wahrscheinlichste Erklärung des Grundeises hat Arago gegeben: seine Ansicht ist die, dass das Wasser oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden, dass aber die so stark erkalteten Wassertheilen sogleich erstarren, wenn sie, durch die Strömung niedergezogen, mit den festen Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

197 Temperatur der Meeresoberfläche. Auf allen von Schiffen befahrenen Gegenden, auf den Aequatorialmeeren sowohl wie auf den Polarmeeren und den Meeren der gemässigten Zone sind zahlreiche Beobachtungen über die Temperatur der Luft, der Meeresoberfläche und der Meerestiefen angestellt worden, welche zahlreiche für die Wissenschaft höchst wichtige Resultate geliefert haben.

Ueber dem Meere, in grossen Entfernungen von den Küsten, sind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchstens 1 bis 2°, während sie auf dem Lande 5 bis 6° beträgt; in der gemässigten Zone, zwischen dem 25. und 50. Breitengrade, ist dieser Unterschied nur 2 bis 3°, während er auf dem Lande weit grösser ist.

Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang Statt, die Zeit des Maximums soll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Wasserschichten, so ergeben sich folgende Resultate.

In den Tropen ist in der heissesten Tageszeit die Luft wärmer als das Wasser; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Wassers von 4 zu 4 Stunden bestimmt, wie es der Capitän Duperrey gethan hat, so ergiebt sich, dass im Durchschnitt die Temperatur der Luft niedriger ist als die des Wassers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371mal das Meer und nur 479mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50. Grade, ist die Luft nur

in den Polargegenden fast nie wärmer als die Oberfläche des
nach einer Zusammenstellung von Kämtz ist die Temperatur der
Oberfläche für verschiedene Breiten im Durchschnitt die folgende:

Atlantischer Ocean.

Nördliche Hemisphäre.				Südliche Hemisphäre.			
e.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.
	25,9	42°	15,2	0°	25,9	42°	11,9
	27,4	48	14,0	6	25,9	48	10,7
	25,5	54	10,5	12	25,2	51	5,3
	23,3	60	9,0	18	24,1	60	— 1,7
	22,4	66	— 3,6	24	24,2	63	0,0
	21,5	78	— 1,4	30	20,2	66	— 1,7
	19,0	81	— 3,2	36	17,6		

Grosser Ocean.

Nördliche Hemisphäre.				Südliche Hemisphäre.			
e.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.
	27,6	42°	13,4	0°	27,6	42°	12,5
	27,7	48	11,9	6	27,8	48	7,6
	27,0	54	4,4	12	26,6	54	— 1,7
	25,7	60	4,3	18	26,6	63	— 1,0
	23,0	63	2,6	24	23,6		
	21,7	69	0,55	30	19,6		
	17,5			36	14,0		

Indischer Ocean.

. Br.	Temp. C.	Südl. Br.	Temp. C.	Südl. Br.	Temp. C.
0	27,1	24	22,6	48	6,6
6	26,5	30	21,05	54	— 0,8
2	25,6	36	18,2	60	— 0,8
8	25,0	42	12,3	66	— 1,7

Maury hat versucht, die Monatsisothermen der Meeresober für den atlantischen Ocean zu construiren. Die Biegungen dieser C verlaufen aber so gekräuselt, dass man in ihnen eher die Zufäll einzelner Beobachtungen als die Wahrscheinlichkeit des allgemeine tels erkennt.

Die höchsten beobachteten Temperaturen der Meeresoberfläche

Temp. C.	Ocean.	Breite.	Länge (Paris).	Beobach
29,20	Atlantischer	3,10 n.		Kotzebue.
29,2	Indischer	6,10 n.	102° östl.	Meyen.
29,3	Grosser	2,30 n.	östl. d. Gallopagas.	Humboldt
29,7	"	4,20 n.	82° 56' w.	Holmfeld
	"	7° n.	81° w.	
30,4	"	5° s.	152° w.	Beechey.
	"	19° n.	113° o.	
30,6	-	2° 5' n.	81° 24' w.	Holmfeld

Im mexikanischen Meerbusen schwankt die Temperatur der oberfläche nach Berard zwischen 20 und 29·4 Grad Celsius.

Mit dem Namen der Isokrymen bezeichnet man diejenigen welche die Orte verbinden, an welchen die Temperatur der Mee fläche während der 30 auf einander folgenden kältesten Tage niedrig ist. Die Isokrymen stellen also nicht etwa den thermisc stand der Meeresoberfläche zu irgend einer Zeit dar, sondern si ungefähr das Minimum der Temperatur an, bis zu welchem die ratur der obersten Meeresschichten an verschiedenen Orten her ihre Bedeutung ist also vorzugsweise eine zoologische. So bik die nördliche und die südliche Isokryme von 16° R. die Gränzli die Zoophyten. Auf Tab. XXII. a. sind die Isokrymen nach D rothe Curven aufgetragen. Die beigeschriebenen Ziffern be Reaumur'sche Grade.

196

Temperatur der Meerestiefen. In den Tropen nü Temperatur der Meere mit der Tiefe ab, in den Polarmeeren nimmt sie mit der Tiefe zu.

Während in der heissen Zone die Temperatur der Meeresob 27° C. ist, sinkt dort die Temperatur des Wassers in der Tie unter + 4°. Die Beobachtungen, welche am Bord der Venus den Hütchen von De Pezay-Thomars gemacht wurden, ergaben Temperatur der Tiefe in der heissen und gemässigten Zone 20° C. unter 27' 47' süd. Breite fand man z. B. im indischen M unter Tief von 990 Faden : Faden = 6' englisch = 1,83 Met

temperatur $2,8^{\circ}$, während sie auf der Oberfläche $23,8^{\circ}$ war; bei Penedo S. Pedro, $4^{\circ} 23'$ nördl. Breite und $28^{\circ} 26'$ westlich von Paris, an Oberfläche 27° , in einer Tiefe von 1130 Faden aber $3,2^{\circ}$; Kotzebue in einer Tiefe von 525 Faden unter einer Breite von $32^{\circ} 11'$ die Temperatur des Wassers $2,5^{\circ}$.

Humboldt hat gezeigt, dass die Erkaltung der Meeresoberfläche während der Nacht nicht die Veranlassung der geringen Temperatur der Meerestiefen in den Tropen sein kann und dass sie nur die Folge von Meeresströmungen ist, welche in der Tiefe die Gewässer der Pole dem Äquator zuführen; deshalb findet man auch in der Tiefe des mittelländischen Meeres, wo diese untere Meeresströmung nicht eindringen kann, nie so niedrigen Temperaturen.

Die Beobachtungen von Mulgrave, Scoresby, Ross und Parry geben das übereinstimmende Resultat, dass in den Polarmeeren die Temperatur in der Tiefe höher ist als an der Oberfläche; in einer Tiefe von 100 Faden steigt die Temperatur des Wassers auf 2 bis 3° über den Gefrierpunkt, während sie an der Oberfläche unter 0° war. Beechey dagegen fand in der Behringsstrasse in einer Tiefe von 20 Faden die Temperatur des Wassers $-1,4^{\circ}$, während sie an der Oberfläche $+6,3^{\circ}$ betrug; Beechey fand im Allgemeinen die Temperatur der Tiefe niedriger als die der Oberfläche.

Dass die Temperatur der Meerestiefen niedriger ist als 4° C., d. h. niedriger als die Temperatur der tieferen Wasserschichten in Süßwasser, rührt daher, dass die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums für Meerwasser eine andere ist als für das süße Wasser.

Durch den Salzgehalt des Wassers wird sowohl sein Gefrierpunkt als auch die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums erniedrigt. Despretz fand für den Gefrierpunkt des Meerwassers (das Wasser, mit welchem er experimentirte, war von Freycinet der Südsee geschöpft) $-2,55^{\circ}$, für die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums aber $-3,67^{\circ}$; das Dichtigkeitsmaximum findet also bei einer niedrigeren Temperatur Statt, welche unter der des Gefrierpunktes liegt, es kann also nur beobachtet werden, wenn das Wasser bis unter den Gefrierpunkt abgekühlt, ohne zu erstarren. Despretz untersuchte den Gang der Ausdehnung des Meerwassers, indem er Meerwasser-Thermometer derart construirt und beobachtete, wie sie in meinem Lehrbuch der Physik besprochen worden sind (7. Aufl., 2. Band, S. 652).

Das Eismeer. Bei der niedrigen Temperatur, welche in der Nähe der beiden Erdpole herrscht, muss in den Meeren jener Regionen eine massenhafte Eisbildung stattfinden, die wir nun etwas näher zu betrachten haben.

In den grönländischen Meeren begegnet man ungeheuren Eismassen, welche unter dem Namen der Eisfelder bekannt sind. Sie bilden eine zusammenhängende Eismasse, welche zwar nur 4 bis 6 Fuss über den

Meeresspiegel hervorragt und ungefähr 20 Fuss tief untergetaucht ist, aber von einer Ausdehnung, die sich vom obersten Mastkorbe eines Schiffes nicht übersehen lässt. Manchmal sind sie gegen 25 geographische Meilen lang und 12 Meilen breit.

Die um Grönland so zahlreichen Eisfelder stammen offenbar aus dem Norden und haben ihren Ursprung zwischen Spitzbergen und dem Nordpol.

Durch Meeresströmungen südwärts getrieben können solche Eisfelder dem heftigen Wogen des Meeres nicht widerstehen, sie zerbrechen in Stücke, welche 120 bis 150 Fuss Durchmesser haben und welche entweder theilweise mit einander in Berührung bleiben, oder sich so weit von einander entfernen, dass ein Schiff zwischen ihnen hindurchfahren kann. Solche vereinzelt schwimmende Eismassen, welche auf ihrer Wanderung nach Süden mehr und mehr zertheilt werden, nennt man loses oder offenes Eis oder auch Treibeis.

Hervorragungen auf schwimmenden Eisebenen nennt man Hummocks. Sie entstehen entweder dadurch, dass ein Stück gegen das andere gepresst und in dieser Lage mit seinem Rande aufwärts gekehrt anfriert, oder dadurch, dass die Bruchstücke eines Eisstückes über eine andere Eismasse hingeschoben werden. Solche Anhäufungen erreichen manchmal eine Höhe von ungefähr 30 Fuss.

Das Eis der Eisfelder und ihrer Trümmer ist, da es durch Gefrieren des salzhaltigen Meerwassers entstanden ist, wesentlich von dem Süswassereis verschieden. Wenn Meerwasser friert so scheiden sich die in ihm enthaltenen Salze grösstentheils aus und es bleibt in dem schwammigen Eise, welches entsteht, nur dasjenige Salz zurück, welches in den zwischen den Eistheilen eingeschlossenen Salzwasser enthalten ist. Das aus Meerwasser entstandene Eis ist weiss und undurchsichtig, es ist weicher und leichter als das Eis süsser Gewässer, so dass, wenn es auf dem bis zu seinem Gefrierpunkt erkalteten Meerwasser schwimmt, der aus dem Wasser hervorragende Theil sich zu dem untergetauchten verhält wie 1 zu 4.

Die Oberfläche der Eisfelder ist meistens mit festem, durchsichtigem Süswassereis bedeckt, dessen Ursprung sich leicht erklären lässt. Während des neun Monate lang in jenen Gewässern anhaltenden Frustes werden die Eisfelder mit einer 2 bis 3 Fuss dicken Schneeschicht bedeckt. Dieser Schnee schmilzt, wenn mit Ende Juni oder Anfang Juli Thauwetter eintritt. Das geschmolzene Schneewasser, welches grösstentheils nicht abfließen kann, friert im nächsten Winter und verstärkt das Eisfeld an seiner oberen Fläche mit einer mehrere Zoll dicken Lage Süswassereis, während von unten her Salzwassereis anschiesst.

Die um den Monat Juni bei Spitzbergen erscheinenden Eisfelder treiben in südwestlicher Richtung gegen Grönland hin und zwar legen sie in dieser Richtung in Monatsraum einen Weg von 25 geographischen Meilen zurück, wogegen der Wind meist in ganz verschiedenen

gen blies; die Wanderung der Eisfelder ist also offenbar durch Meewindungen bedingt. Für die bei ihrem Vordringen nach Süden unbeeinträchtigt Einflüsse des Wellenschlages zerstörten und in Treibeis verwandelt wurden stets neue Eisfelder von Norden her.

haben kleinere Eisfelder von 1 bis 2 Quadratmeilen Oberfläche beweisende Bewegung von solcher Geschwindigkeit, dass ein Punkt des einen Weg von 3 bis 5 Fuss in der Secunde zurücklegt. Wenn ein solches Feld mit einem ruhenden oder gar mit einem in entgegengesetzter Richtung sich drehenden in Berührung, so entsteht ein heftiger Stoss. Das schwächere Feld wird unter heftigem Krachen zertrümmert, wobei sich Eisstücke von ungeheurer Grösse so über einander heben, dass sie 20 bis 30 Fuss über den Wasserspiegel hervorragten. Ein solches Schiff ist dadurch zu Grunde gegangen, dass es das Ueberhandnehmen hatte, zwischen zwei an einander stossende Eisfelder zu ge-

Tab. XXII. a. sind die Gewässer, welche sich im Winter mit Eis bedecken, durch blaue Färbung ausgezeichnet.

In den grönländischen Gewässern begegnet man bisweilen auch schwimmenden Eismassen, welche sich von den Eisfeldern und ihren Grenzen dadurch unterscheiden, dass sie bei geringerem Umfange unregelmäßiger sind, als die Eisfelder, also auch bei weitem tiefer unter den Wasserspiegel hinabreichen. Diese, mit dem Namen von Eisbergen bezeichneten Massen bestehen nur aus durchsichtigem Süsswassereis und auf ihrer Oberfläche nicht selten Steine und Grund.

Eisberge, welche noch weit mächtiger sind, als die, welche in den grönländischen Gewässern vorkommen, begegnet man in der Baffinsbay, woher sie durch die Davis-Strasse in den atlantischen Ocean einströmen nach Süden treiben. Oft 100 Fuss, ja selbst mit einzelnen Berggipfeln und Hörnern 150 Fuss hoch über den Meeresspiegel hervorragen, reichen sie im Meere bis zu einer Tiefe von 500 bis 600 Fuss, noch tiefer herab, wie sich am besten an gestrandeten Eisbergschmelzen lässt. Couthoy fuhr im August 1827 an einem bei einer Meerestiefe gestrandeten Eisberge vorbei, um welchen herum $\frac{1}{4}$ englische Meile weit getrübt war. Plötzlich stürzte er unter heftigem fürchterlichem Krachen auf die Seite. Im September 1822 fuhr Couthoy am östlichen Rande der Newfoundlands-Bank einen in einer Tiefe von 700 Fuss gestrandeten Eisberg.

Fig. 290 (a. f. S.) stellt einen schwimmenden Eisberg dar, welchen Parry auf seiner ersten Reise, und Fig. 291 (a. f. S.) zeigt die wunderlichen Gestalten von Eisbergen, welche Ross etwas nördlich von der Insel Disko an der Westküste von Grönland beobachtete. Fig. 292 endlich stellt einen Eisberg dar, welcher im April 1829 südlich von Madagaskar in einer Breite von $39^{\circ} 13'$ gesehen worden ist. Er schien ungefähr 100 Meilen im Umfang zu haben und ragte 150 Fuss über das

Wasser empor, im Ganzen musste er also eine Höhe von mehr als 1000 Fuss haben.

Fig. 290.



Fig. 291.

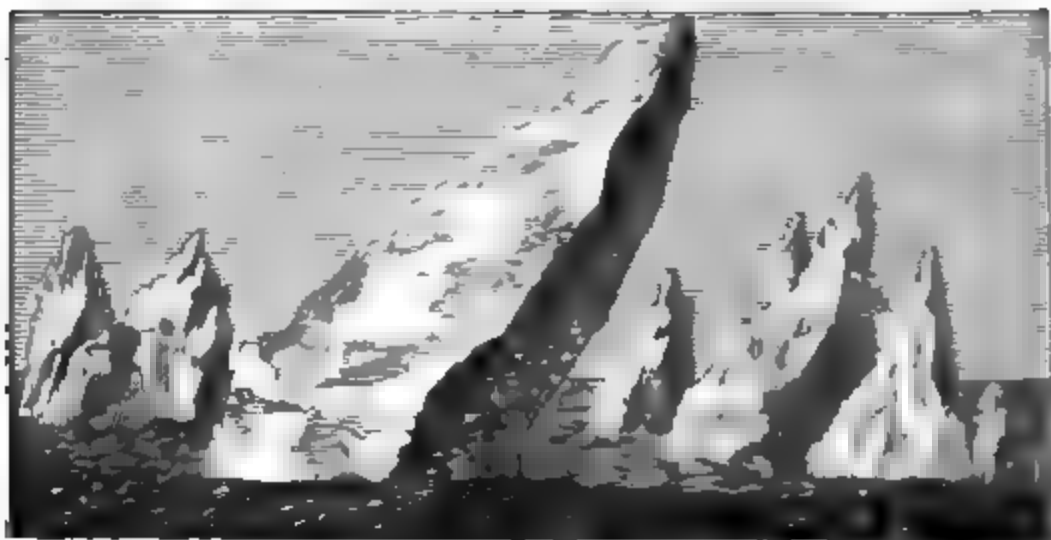
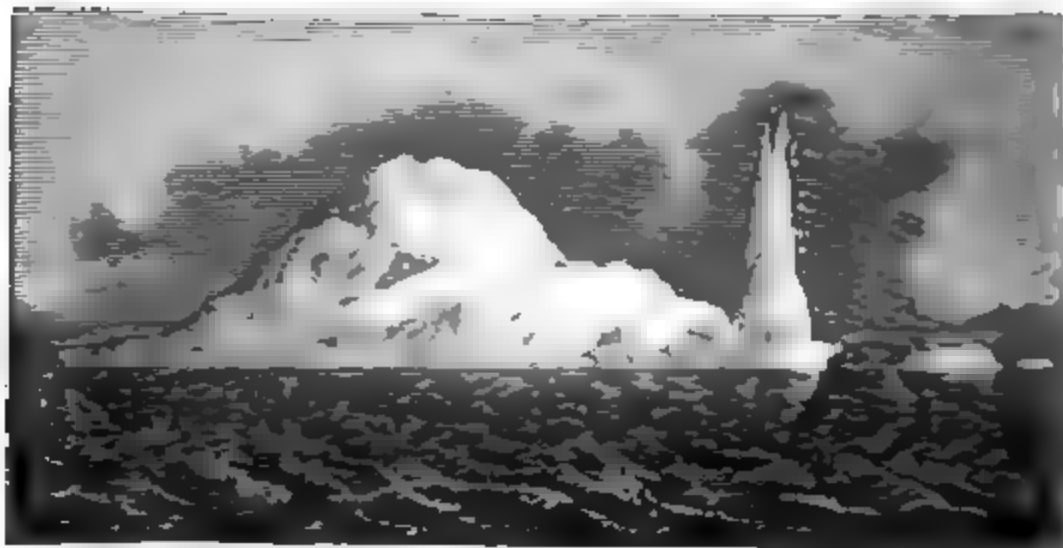


Fig. 292.



Die Eisberge dringen von beiden Polen her viel weiter gegen den Äquator vor als das Treibeis. Wiederholt sind Eisberge mitten im Ozean, ja noch jenseits desselben gesehen worden. Im Juli 1818

selbst in den westindischen Gewässern mächtige Eisberge erschie-

Auch antarktische Eisberge gelangen öfters in niedrige Breiten, der bereits besprochene und in Fig. 292 abgebildete Eisberg beweist; in der Nähe des Caps der guten Hoffnung hat man sie schon bis zum 30. Grade südlicher Breite angetroffen.

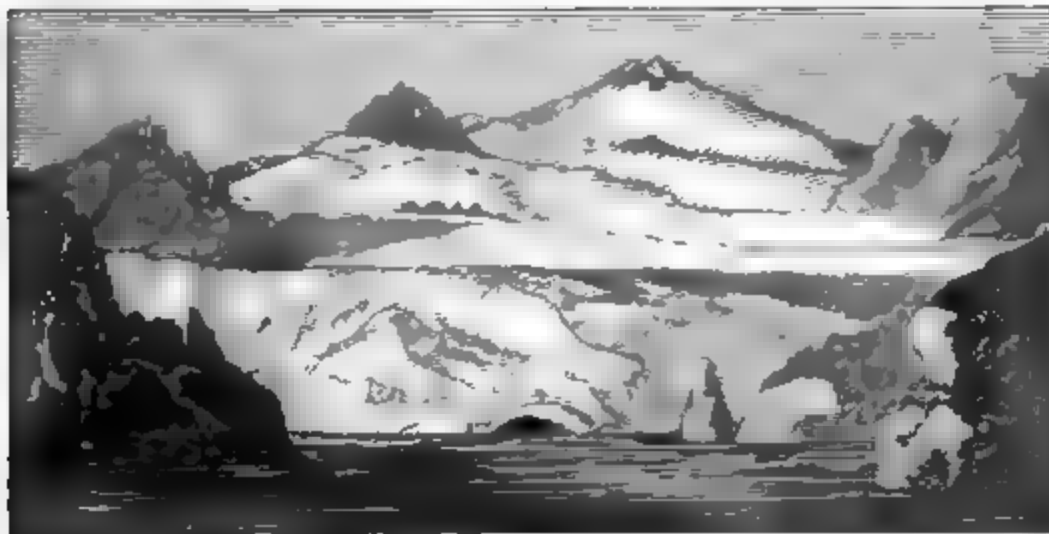
Die phantastischen Gestalten der Eisberge prangen in der herrlichen Farbenpracht. Bei Nacht und bei Tag glänzen sie an den weissen Eismassen wie Silber und an den übrigen in den lebhaftesten Regenbogenfarben.

Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen zerbröckelt wird, strömt das Wasser in ungeheuren Wasserfällen von den Kämme solcher Eisgebirge herab. Es ist dies ein majestätisches Schauspiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten; die gigantischen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen stürzen plötzlich und stürzen unter ungeheurem Krachen in das Meer herab.

Was nun den Ursprung dieser im Meere schwimmenden Eisberge betrifft, so unterliegt es keinem Zweifel, dass sie von Gletschern der Arktiden stammen, von denen sich, wenn sie bis ins Meer vorgedrungen sind, mehr oder minder bedeutende Massen losrennen und im Meere schwimmen.

Fig. 293 zeigt einen der mächtigen Gletscher, welche auf Spitzbergen bis zum Meeresspiegel vordringen, und welcher hier mit einer

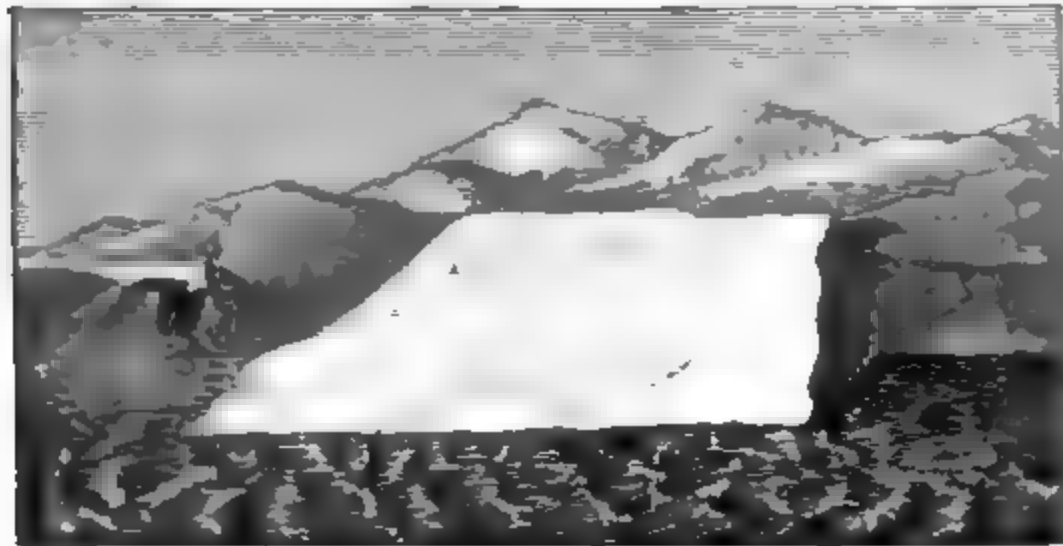
Fig. 293.



rechten 300 Fuss hohen Eiswand endet, deren herrlich grüne Farbe scharf gegen das Weiss der benachbarten Schneeberge contrastirt. Können sich grosse Eismassen von dieser Wand los, welche krachend ins Meer hinabstürzen. Capitan Phipps beobachtete eine solche, welche in einer Tiefe von 140 Fuss Grund fasste und noch 50 Fuss über Meeresspiegel hervorragte.

Weit mächtiger noch als die Gletscher Spitzbergens sind diejenigen welche die zahlreichen Einbuchtungen im nördlichen Theile der Westküste Grönlands ausfüllen. Fig. 294 stellt einen sehr schönen 6 Seemeilen nördlich vom Vorgebirge Dudley Digges ($76^{\circ} 12'$ nördl. Breite)

Fig. 294.



liegenden Gletscher dar, welchen Capitän Ross abgebildet hat. Die Masse bedeckte einen Raum von 4 Quadratseemeilen, sie erstreckte sich 1 Seemeile weit in das Meer hinein und hatte eine Höhe von mindestens 1000 Fuss.

Fig. 295 ist die Ansicht eines mächtigen bis in das Meer herabgehenden Gletschers in der Possessions-Bai der gebirgigen Insel Süd-G-

Fig. 295.



grön. Das Thale dieses Gletschers war beträchtlicher als das der Possessions-Bai, 1844.

Zweites Capitel.

Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

Die Lufthülle der Erde. Die feste, zum Theil mit Wasser be- 200
Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man
n Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus
n die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft.

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoff-
und Stickgas, zu deren Gemisch noch verhältnissmässig geringe
Anteile von Kohlensäure und Wasserdampf gekommen sind. In
100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickgas und 21 Raumtheile
Sauerstoffgas enthalten. Dieses Verhältniss ist fast ganz constant. Der
Anteil an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber
verhältnissmässig grösseren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff,
10 000 Raumtheile Luft 3,3 bis 5,3 Raumtheile Kohlensäure ent-

Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im
nächsten Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Der Luft kommt, wie dies in der Physik näher nachgewiesen wird,
wie den festen und den tropfbar-flüssigen Körpern die Eigenschaft
der Schwere zu. Die Lufttheilchen werden also von der Masse des
Bodens angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde
in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die At-
mosphäre zu einem integrierenden Theile der Erde, sie nimmt Theil so-
wohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Der Boden des Luftmeeres, welches wir Atmosphäre nennen, ist der
Sitz alles organischen Lebens auf der Erde; nur durch Vermitte-
lung der Luft wird das Thier- und Pflanzenleben unterhalten. Die Dich-
teverhältnisse der Luft, ihre Bestandtheile, die Strömungen dersel-
ben, der Feuchtigkeitsgehalt und die durch denselben bedingten wässeri-
gen Niederschläge, die Verbreitung der Wärme in der Atmosphäre sind
wesentliche Elemente für die Entwicklung der Flora sowohl wie
die eines Landes.

Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches ein gebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie gesetzt ist, so ist klar, dass die Atmosphäre nicht überall gleichartig sein kann, dass dieselbe, vielmehr von unten nach oben während abnehmen muss, weil ja die tieferen Luftschichten einem grösseren Druck ausgesetzt sind als die höheren.

Dass die tieferen Luftschichten wirklich einen stärkeren Druck zuhalten haben, das beweisen uns die in verschiedenen Höhen gemachten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer ist die Höhe der Barometersäule im Mittel 760 Millimeter; sobald man sich aber über den Meerespiegel erhebt, sinkt das Barometer um so mehr, je höher man steigt; zu Potosi, in einer Höhe von 13 220 Fuss, ist der mittlere Barometerstand nur noch 471 Millimeter (17,4 Zoll); in jener Höhe ist der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres stattfindet.

Dass die Luft in der Höhe weniger dicht ist als in der Tiefe, lässt sich gleichfalls durch Barometerversuche darthun. Vom Spiegel des Meeres aus muss man um 10,5 Meter steigen, wenn das Barometer um 1 Millimeter fallen soll; wenn man aber von Potosi aus noch weiter steigt, so muss man sich um 16,8 Meter erheben, um ein Sinken des Barometers um 1 Millimeter zu erhalten. Die Dichtigkeit der Luft zu Potosi verhält sich also zu der Dichtigkeit der Luft am Ufer des Meeres wie 10,5 zu 16,8, d. h. im Niveau des Meeres ist die Luft 1,6mal so dicht als zu Potosi, oder mit anderen Worten: die Dichtigkeit der Luft zu Potosi ist nur 0,62 von derjenigen, welche am Ufer des Meeres stattfindet.

201 Die Variationen des Barometerstandes. Für ein denselben Ort ist die Höhe der Barometersäule keineswegs eine beständige Grösse, sie ist vielmehr fortwährenden Schwankungen unterworfen, auf den ersten Anblick vollkommen unregelmässig erscheinen. Um die Gesetze der Barometerschwankungen zu ermitteln, muss das Barometer in ähnlicher Weise in regelmässigen Zeitintervallen beobachtet werden, wie dies beim Thermometer geschieht.

Um den Gang des Barometers möglichst genau verfolgen zu können, sollten diese Zeitintervalle möglichst kurz sein, eine Vervielfachung der Beobachtungsstunden ist aber, wenn es sich um länger fortgesetzte Beobachtungsreihen handelt, ohne zahlreiches Beobachtungspersonal nicht möglich, man hat deshalb in neuerer Zeit vielfach versucht, regende Barometer zu construiren. Anfänglich wandte man zu diesem Zweck das Heberbarometer an, in deren offenem Schenkel ein eiserner Schwimmer in das Quecksilber eintauchte. Der Schwimmer hing mittelst einer Schnur an einer Rolle, welche nach der einen oder der anderen Seite gedreht wurde, wenn der Schwimmer gehoben wurde oder sank; an dieser Rolle aber war endlich der Zeiger befestigt, dessen freies Ende einen schreibenden Stift trug.

iese Einrichtung war aber mit mannigfachen Unvollkommenheiten
t, welche Hipp dadurch zu vermeiden suchte, dass er das Queck-
barometer durch ein Aneroid-Barometer ersetzte. Secchi in
ndlich, welcher auf der Pariser Industrieausstellung eine Reihe
a construirter ausgezeichneten meteorologischer selbst-registiren-
trumente ausgestellt hatte, brachte mit dem besten Erfolge ein
ntes Wagebarometer in Anwendung, welches Wild auch für
ner Sternwarte adoptirte.

ie Construction des Wagebarometers ist aus Fig. 296 ersicht-
Der untere Theil *A* der Barometerröhre ist nur 6^{mm} weit, oben

Fig. 296.



t ein Gefäß *B* von 32^{mm} innerem Durchmesser und 60^{mm} Höhe
hmmolen. Das unten zu einer Spitze ausgezogene Ende der Röhre
ht in ein 120^{mm} hohes, 50^{mm} breites, halb mit Quecksilber gefüll-
lzernes Gefäß von quadratischem Querschnitt, an welchem zwei
überstehende Wände durch Spiegelplatten gebildet werden. Mit-
les Bügels *C*, der den engeren Theil der Röhre umschliesst, ist die
eterröhre an den einen Arm *D* eines Wagebalkens angehängt, dessen

anderer Arm F nach unten gebogen ist und in eine Stahlstange mit schiebbarem Laufgewicht ausläuft. Der Wagebalken ist um die Kante einer Stahlschneide drehbar, welche auf Stahlpfannen ruht, einen scheerenförmigen Träger eingelassen sind. An dem Wage ist endlich der dünne federnde Zeiger K befestigt, welcher an Ende die markirende Nadel trägt.

Wenn das Barometer steigt, so wird die im Rohre befindliche silbersäule schwerer, der Wagebalken wird also auf der Seite etwas niedergezogen, während sich F mit dem Laufgewicht b Folge davon wird natürlich auch das untere Ende des Zeigers der rechten Seite hin bewegt, während es nach der Linken geht das Barometer fällt.

Die von 10 zu 10 Minuten erfolgende Markirung geschieht ganz in der Weise, welche wir bereits beim registrirenden Thermometer kennen lernten, mit dem einzigen Unterschiede, dass sich der Papirfen hier in verticaler Richtung von oben nach unten bewegt, auch aus Fig. 296 ersichtlich ist, wo die Buchstaben K , P , d den gleichen Stücke des Schreibapparates bezeichnet werden wie in Fig. 295, Seite 435.

202 Tägliche Variationen des Barometers. Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend macht, muss man die Mittelzahlen einer grossen Anzahl von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmässig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Man einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unser Land zu beweisen. Die Tabelle auf Seite 573 enthält die Resultate von 20jährigen von Rouvard auf der Sternwarte zu Paris angestellten Barometerbeobachtungen: sie giebt die auf 0° reducirten Barometerstände in Millimetern an. Die Beobachtungsstunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Die erste Columnne dieser Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höchsten und tiefsten Barometerstandes. Die für eine jede Beobachtungsstunde angegebenen Zahlen sind das Mittel aus allen zu dieser Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; so ist z. B. die Zahl 758.5 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 9 Uhr Morgens beobachteten Barometerständen.

Man sieht aus dieser Tabelle, dass die für die verschiedenen Beobachtungsstunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich sind: das höchste Mittel ist für 9 Uhr Morgens, das niedrigste für 3 Uhr Nachmittags.

Jahr.	H. St.	Tag. Monat.	T. St.	Tag. Monat.	9 Uhr.	12 Uhr.	3 Uhr.	9 Uhr.	Mittel.
1819	770,89	1. Jan.	738,00	1. März.	754,104	754,863	754,389	754,789	754,786
1820	772,60	9. " Febr.	726,33	24. "	755,077	755,838	755,352	755,712	755,745
1821	780,82	6. Febr.	715,54	24. Dec.	755,986	755,755	755,285	755,764	755,697
1822	775,93	27. "	734,60	2. Febr.	757,437	757,158	756,591	757,020	757,062
1823	772,23	7. Dec.	722,34	2. Febr.	755,033	754,796	754,353	754,633	754,704
1824	773,24	27. Mai.	728,66	12. Oct.	755,817	755,567	755,072	755,385	755,460
1825	776,35	10. Jan.	726,82	10. Nov.	757,742	757,430	756,873	756,962	757,252
1826	774,79	17. "	731,53	13. "	757,367	757,047	756,509	756,868	756,948
1827	773,48	28. Dec.	733,50	4. März.	756,211	755,995	755,484	755,847	755,884
1828	771,10	12. Febr.	730,54	21. Febr.	756,306	756,084	755,616	755,982	755,997
1829	773,46	3. Febr.	734,68	7. Oct.	755,377	755,107	754,641	755,145	755,068
1830	771,90	1. Jan.	729,42	9. Dec.	755,918	755,691	755,255	755,772	755,646
1831	772,40	8. April.	733,80	30. April.	755,356	755,157	754,676	755,176	755,091
1832	771,02	4. April.	738,05	30. "	757,893	757,548	757,025	757,597	757,515
1833	774,04	8. Jan.	730,68	1. "	755,790	755,508	754,988	755,521	755,452
1834	772,00	27. Dec.	739,46	10. Jan.	759,014	758,650	758,073	758,690	758,607
1835	776,63	2. Jan.	730,16	10. Oct.	757,270	756,990	756,494	757,114	756,967
1836	775,81	2. "	724,00	28. März.	755,363	755,038	754,578	755,165	755,036
1837	772,41	14. Oct.	737,74	13. Sept.	756,686	756,381	755,861	756,360	756,322
1838	772,31	31. Dec.	728,88	25. Febr.	754,679	754,365	753,896	754,355	754,324
1839	771,53	1. Jan.	735,77	20. "	755,386	755,102	754,631	755,048	755,041
1840	772,37	11. "	731,70	4. "	756,492	756,135	755,628	756,198	756,113
Mittel	773,51		731,01		756,287	756,009	755,512	755,957	755,941

um 3 Uhr Nachmittags; es spricht sich darin entschieden ein periodisches Sinken und Steigen aus; die nicht periodischen Schwankungen berücksichtigt gelassen, sinkt demnach das Barometer ungefähr 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu steigen. 9 Uhr Morgens steht das Barometer im Durchschnitt um 0,775 meter höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodischen Schwankungen ist dieser zufolge sehr gering im Vergleich zu den unregelmässigen nicht periodischen Schwankungen; denn im Durchschnitt ist der höchste Barometerstand im Laufe eines Jahres 773,5 Millimeter, der niedrigste 731 meter, ihre Differenz also 42,5 Millimeter, während die Differenz der täglichen Maxima und Minima nur 0,775 Millimeter beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerschwankungen verfolgen zu können, muss eine Zeitlang wenigstens bei Tage stündlich das Barometer beobachtet werden. Die meisten Beobachtungsreihen dieser Art sind jedoch des Nachts nicht fortgesetzt; man kann aber mit hinlänglicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen den Gang des Barometers in der Nacht schliessen.

Die Tabelle auf Seite 575 enthält die Resultate solcher Beobachtungsreihen, welche an verschiedenen Orten angestellt wurden.

Nach dieser Tabelle ist in den Figuren (Taf. 19) der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Hamburg anschaulich gemacht.

Die Zeit ist zur Abscisse genommen; der Maassstab der Ordinate aber ist vergrössert, weil die Amplitude der täglichen Variationen in höheren Breiten sonst wegen ihrer Kleinheit nicht sich darstellen würde; die Entfernung je zweier auf einander folgender Ordinaten stellt 1,5 Millimeter dar.

Das Barometer sinkt also vom Mittag an und erreicht zwischendessen um 3 Uhr sein erstes Minimum, es steigt dann und erreicht ein zweites Minimum zwischen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Maximum tritt 4 Uhr Morgens ein, ein drittes Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man Wendestunden.

Die Wendestunden sind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieselben, wie man aus der Tabelle auf Seite 576 ersehen kann, welche die Wendestunden in den verschiedenen Monaten des Jahres anzeigt.

Ort.	0° 0'	10° 28' n.	10° 36' n.	22° 35' n.	45° 24' n.	51° 29' n.	60° 57' n.	59° 66' n.
Beobachter:	Horner.	Humboldt.	Boussingault.	Balfour.	Ciminello.	Kämtz.	Hallström.	Kupfer.
Mittags								
1	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
2	751,87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	759,38
3	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,32
4	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	759,32
5	751,02	754,96	758,06	757,91	756,47	752,84	759,25	759,31
6	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	759,32
7	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
8	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	759,32
9	752,35	756,21	759,19	758,54	756,79	753,14	759,39	759,36
10	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	759,35
11	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,32
Mitternacht								
1	752,47	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	759,32
2	752,20	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,32
3	751,77	756,53	759,34	758,62	756,90	753,14	759,33	759,32
4	751,63	756,21	759,04	758,57	756,84	753,05	759,24	759,32
5	751,32	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	759,32
6	751,65	755,66	758,68	758,47	756,74	752,99	759,07	759,39
7	751,95	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	759,49
8	752,48	756,18	759,32	758,68	756,79	753,12	759,04	759,51
9	752,95	756,58	759,94	759,16	756,89	753,24	759,08	759,51
10	753,16	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,51
11	753,15	757,31	759,63	760,11	757,08	753,41	759,21	759,51
	752,80	757,32	760,50	760,19	757,14	753,46	759,29	759,51
		757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	759,51

Monate.	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.
Januar	2,81h. A.	9,17h. A.	4,91h. M.	9,91h.
Februar	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4,46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	9,73
Juli	5,21	11,04	3,04	9,44
August	4,86	11,66	3,06	8,96
September :	4,55	10,45	3,45	9,55
October	4,17	10,24	3,97	10,07
November	3,52	9,85	4,68	10,08
December	3,15	9,11	3,91	10,11

Bestimmt man die Wendestunden, indem man das Mittel aus Monatszahlen nimmt, so ergeben sich für alle Orte sehr nahe die Wendestunden. Nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel stellten Beobachtungen zusammen, so ergeben sich im Durchschnitt folgende Wendestunden:

Minimum des Nachmittags 4 Uhr 5 Minuten.
Maximum des Abends . . . 10 „ 11 „
Minimum des Morgens . . 3 „ 45 „
Maximum des Morgens . . 9 „ 37 „

Vergleicht man die Amplitude der täglichen Variationen, so man, wie schon angeführt wurde, dass sie in den Tropen am gr ist, und dass sie um so mehr abnimmt, je weiter man sich von Aequator entfernt. In Cumana beträgt die Amplitude der täglichen riationen 2,36, in Petersburg nur 0.2 Millimeter.

Auch die Jahreszeiten üben auf die Grösse der täglichen Variat einen Einfluss aus: selbst in den Tropen ist die Amplitude den während der Regenzeit geringer. Im Winter ist die Amplitude de lichen Schwankungen ein Minimum: zu welcher Zeit sie ein Max ist, hat man bis jetzt noch nicht genügend ermittelt. Die folgend belle giebt die Werthe der täglichen Amplitude zu Halle und M für die 12 Monate des Jahres an.

Monate.	Halle.	Mailand.
	mm.	mm.
Januar . . .	0,393	0,738
Februar . . .	0,476	0,718
März . . .	0,488	0,871
April	0,569	0,871
Mai	0,546	0,801
Juni	0,557	0,961
Juli	0,566	0,952
August . . .	0,569	0,812
September . .	0,546	0,817
October . . .	0,566	0,745
November . .	0,426	0,727
December . .	0,363	0,700

Jährliche Periode der Barometerschwankungen. Wenn 203 der mittlere Barometerstand für die verschiedenen Monate des Jahres bestimmt, so findet man bald, dass er sich von einem Monate zum andern bedeutend ändert, und man erkennt in diesen Veränderungen eine jährliche Periode des Sinkens und Steigens. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mittleren Barometerstände der verschiedenen Monate für 10 Orte der nördlichen Hemisphäre.

Monate.	Havannah.	Calcutta.	Benares.	Macao.	Cairo.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	765,24	764,57	755,41	767,93	762,40
Februar	760,15	758,86	752,91	767,01	"
März	760,98	756,24	751,19	766,08	759,43
April	759,58	753,83	747,33	761,93	760,10
Mai	758,19	750,81	745,01	761,64	758,23
Juni	760,67	748,10	741,13	757,31	754,42
Juli	760,67	747,54	740,65	757,91	753,90
August	757,33	748,53	743,31	757,91	754,06
September	757,46	751,85	745,98	762,22	756,70
October	758,19	755,20	750,35	763,37	759,70
November	761,25	758,37	753,06	766,17	760,76
December	763,62	760,59	755,57	768,65	761,82

Monate.	Paris.	Strass- burg.	Halle.	Berlin.	Pet- bu
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	758,86	751,62	754,64	761,91	762,10
Februar	759,09	752,43	753,44	761,23	762,10
März	756,33	751,19	751,62	759,90	760,10
April	755,18	749,95	750,93	757,82	760,10
Mai	755,61	750,49	752,57	759,88	760,10
Juni	757,28	752,16	752,70	759,81	759,10
Juli	756,52	751,64	753,27	759,58	759,10
August	756,74	752,03	752,18	759,02	759,10
September	756,61	752,59	753,42	760,53	760,10
October	754,42	751,82	755,55	761,25	760,10
November	755,75	751,28	753,27	759,43	759,10
December	755,09	750,70	754,10	760,35	760,10

Um die Veränderungen des mittleren Barometerstandes im
eines Jahres anschaulicher zu machen, folgt in Fig. 5 und 6 auf T.
die graphische Darstellung derselben für Calcutta und Macao, in
und 2 Tab. 20 für Paris und Petersburg. Die Entfernung zweier Ho-
tallinien entspricht einer Höhendifferenz von 2 Millimetern, in vert
Richtung ist also der Maassstab dieser Figuren 4mal kleiner, als
Maassstab der Figuren 1 bis 4 auf Tab. 19.

In Calcutta, wo man eine achtjährige Reihe von Beobachtungen
gestellt hat, spricht sich die jährliche Periode am entschiedensten
Im Januar ist der mittlere Barometerstand am höchsten, er sinkt
bis zum Juli, wo er sein Minimum erreicht, und steigt dann
bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für
cutta 17 Millimeter; in Amerika scheint diese Amplitude, welche
falls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu sein.

Auch in höheren Breiten ist der mittlere Barometerstand im Winter
höher als in allen übrigen Jahreszeiten, allein die Differenz des grös-
und des kleinsten Monatsmittels ist weit geringer als in den Tropen.
Ausserdem aber ist in grösserer Entfernung vom Aequator der periodische
Gang des mittleren Barometerstandes im Laufe des Jahres
weniger regelmässig, wie man sowohl aus der Tabelle, als auch in
Figuren sehen kann.

204 Einfluss der Höhe über dem Meeresspiegel auf die
täglichen Schwankungen des Barometers. Da das Barometer
die Grösse des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft
ausübt, so werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen
weniger ausgeprägt sein, wo eine Luftsäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, als
in der Tiefe, und es lässt sich erwarten, dass

Höhen über dem Meeresspiegel die Veränderungen des Luftganz unmerklich werden. Dass die Erhebung über das Nleeres wirklich einen solchen Einfluss ausübt, geht aus den eobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf orn angestellt hat, und welche in der folgenden Tabelle mit eitigen mittleren Barometerständen der verschiedenen Tages-Zürich zusammengestellt sind. Die Zahlen von 10 Uhr 5 Uhr Morgens sind durch Interpolation bestimmt.

	Zürich.	Rigi.	Unter-schiede.	Zürich.	Faul-horn.	Unter-schiede.
	mm 720 +	mm 610 +	mm 100 +	mm 730 +	mm 550 +	mm 170 +
	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
	3,82	4,38	9,45	0,99	7,66	3,33
	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
	3,61	4,30	9,31	0,76	7,49	3,27
	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
	3,95	4,40	9,57	1,21	7,41	3,80
	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
	4,61	4,72	9,90	1,79	7,41	4,39
	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
it.	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
	4,31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
	4,41	4,13	10,28	2,13	7,36	4,77
	4,38	4,16	10,22	2,20	7,62	4,57
	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
	4,19	4,34	9,86	1,87	7,99	3,97

zeigt sich der Einfluss der Höhe auf die Grösse der täglichen n entschieden. Die Differenz zwischen dem höchsten und nie-tande ist in Zürich 1,56 Millimeter, während sie auf dem Faul-

horn nur 1,09 Millimeter ist. Ausser der Grösse der Schwankun zeigt sich aber auch im Gange des Barometers eine grosse Verschieden wie man am besten aus Fig. 3 Tab. 20 ersieht, in welcher die tägig Variationen auf dem Faulhorn und in Zürich durch Curven anschau gemacht sind. Die Zahlen rechts beziehen sich auf die untere, die len links auf die obere Curve. Man sieht, dass am Nachmittag da rometer an beiden Orten sinkt; in Zürich steigt es aber von 4 U bis gegen 10 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken 5 Uhr Morgens fortdauert; nun steigt auf dem Faulhorn das Baro wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich schon um 9 Uhr gens seinen höchsten Stand erreicht; auf dem Faulhorn ist also im des Tages nur ein entschiedenes Maximum und ein entschiedenes mum wahrzunehmen.

205 **Mittlere monatliche Schwankungen.** Es ist bereits er worden, dass in unseren Gegenden die periodischen Schwankunge Barometers durch die zufälligen, nicht periodischen maskirt sind. man die periodischen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus fortgesetzten Beobachtungsreihen nachweisen kann. Wir wollen jetzt zur Betrachtung der nicht periodischen Schwankungen wende zunächst den Einfluss der Jahreszeiten auf die Grösse derselben k lernen.

Nach den vom physikalischen Vereine zu Frankfurt a. M. ang ten meteorologischen Beobachtungen sind Folgendes die Unter des höchsten und tiefsten Tagesmittels für jeden der zwölf Monat Jahre 1837 bis 1843 in Pariser Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	M
Januar	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	1
Februar	13	15	10,5	15,5	10	13	13	1
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	1
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	
August	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	
September	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	
October	11	8,5	4	13	11	13	11	10
November	13	12	7,5	14	16,5	14	7	13
December	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9

an ersieht aus dieser Tabelle, dass die Grösse der nicht periodischen Schwankungen im Sommer kleiner ist als im Winter, besonders ersieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columnne.

man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columnne, so erhält man Werth 9,28 Pariser Linien oder 20,4 Millimeter als Durchschnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

es ist jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Grösse monatlichen Schwankungen; denn wir haben ja nicht die Differenz im Laufe eines Monats beobachteten höchsten und niedrigsten Barometerstandes, sondern nur den Unterschied des höchsten und des tiefsten täglichen Barometerstandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen an verschiedenen Orten der Erde.

Batavia	6° 12' S.	2,98 ^{mm}
Tivoli (St. Domingo) . .	18 35 N.	4,11
Havannah	23 9	6,38
Calcutta	22 34	8,28
Teneriffa	28 26	8,48
Funchal (Madeira) . . .	22 37	10,42
Cap der guten Hoffnung .	33 55 S.	12,45
Rom	41 53 N.	17,15
Montpellier	43 36	18,02
Mailand	45 28	19,24
Wien	48 13	20,53
Prag	50 5	21,54
Paris	48 50	23,66
Mannheim	48 29	23,66
Moskau	55 46	24,05
Berlin	52 31	25,24
New-Haven (Connecticut)	41 10	25,29
Jakutzk	62 2	25,92
London	51 31	27,88
Petersburg	59 56	29,24
Nain (Labrador) . . .	57 8	32,35
Christiania	59 55	33,05
Naes (Island)	64 30	35,91

Die nicht periodischen Barometerschwankungen sind also nicht allein im Sommer grösser als im Winter, sondern sie sind auch in kalten Ländern bedeutender als in heissen, d. h. sie nehmen im Allgemeinen um so zu, je weiter man sich vom Aequator entfernt.

Alle Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen dieselbe ist, heissen isobarometrische Linien.

Wir können hier den Lauf der isobarometrischen Linien nicht weiter verfolgen und müssen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken. Aus der eben mitgetheilten Tabelle ersieht man, dass isobarometrischen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Calcutta und Havannah liegen nahe in gleicher Breite, doch sind die Barometerschwankungen in Calcutta weit bedeutender. Auf der Ostküste von Nordamerika sind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel grösser als an den Westküsten von Europa, sie sind in New-Haven und dem 11° 21' nördlicher gelegenen Berlin fast gleich. Die isobarometrischen Linien steigen also von den Ostküsten Nordamerikas nach Europa und entfernen sich dann um so weiter vom Aequator, je weiter man ins Innere des Continents der alten Welt kommt.

- 206 Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres.** Man glaubte früher, dass der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel überall derselbe sei; dies ist jedoch nicht der Fall, wie man aus der Tabelle ersehen kann, in welcher die mittleren Barometerstände an verschiedenen Orten nicht merklich über dem Meeresspiegel gelegener Orte zusammengestellt sind.

Cap der guten Hoffnung .	33° S.	763,01 ^{mm}
Rio Janeiro	23	764,03
Christianborg	5° 30' N.	760,10
St. Thomas	19	760,51
Macao	23	762,99
Madeira	32 30	765,13
Neapel	41	762,95
Paris	49	761,41
Edinburgh	56	758,25
Reikiavig	64	752,00
Spitzbergen	75 30	756,76

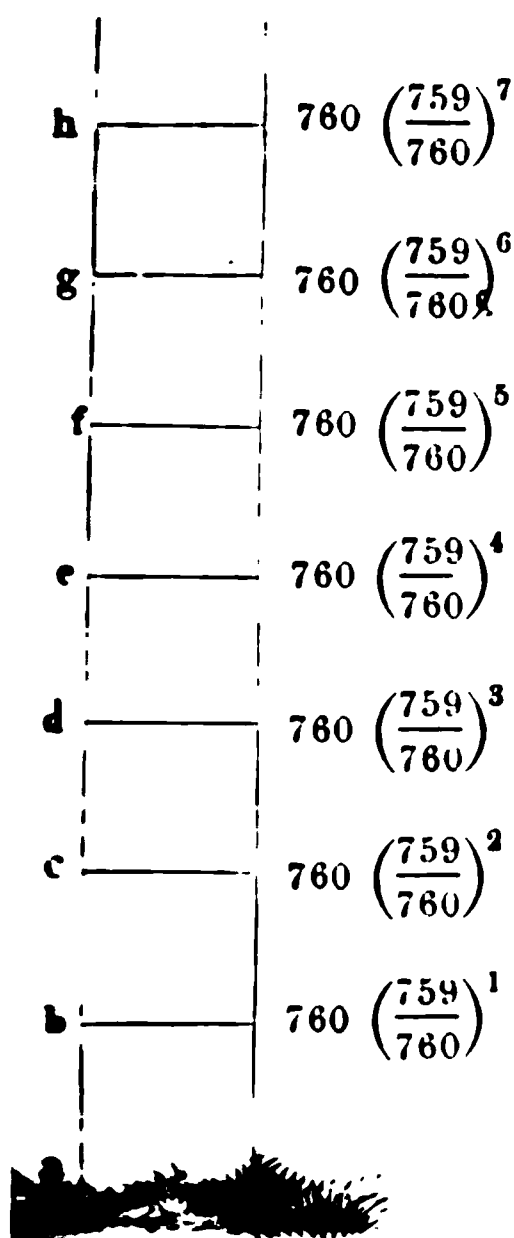
Wir sehen aus dieser Tabelle, wie dies in Fig. 4 auf Tab. 20 graphisch dargestellt ist, dass der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel am Aequator nach dem Nordpole hin erst wenig, dann rascher zunimmt, dass er zwischen dem 30. und 40. Breitengrade sein Maximum erreicht, dass er dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwischen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite am kleinsten ist.

- 207 Barometrische Höhenmessung.** Es ist eine schon bald nach der Entdeckung des Barometers constatirte Thatsache, dass das Barometer um so mehr sinkt, je mehr man sich mit demselben über den Seesspiegel des Meeres erhebt. Die Höhendifferenz zweier Orte ist also eine Function der gleichzeitig an denselben beobachteten Barometerstände. Mit anderen Worten: wenn man an zwei nicht allzuweit von einander entfernten Stationen zu gleicher Zeit den Stand des Barometers

hatet hat, so kann man danach den Höhenunterschied der beiden Stationen berechnen. Suchen wir die dazu nöthige Formel zu entwickeln.

Es ist schon im §. 200 erwähnt worden, dass man von einem Orte *a*, wo der Barometerstand 760 Millimeter beträgt, um 10,5 Meter steigen müsse, wenn das Barometer um 1 Millimeter, also bis auf 759 Milli-

Fig. 297.



meter (oder, was dasselbe ist, auf $760^{759/760}$ Millimeter) fallen soll. Ohne merklichen Fehler können wir annehmen, dass die ganze Luftschicht von 10,5 Meter Höhe überall gleich dicht sei, wir können annehmen, dass sie so dicht sei als am Boden. Es sei *a*, Fig. 297, ein Punkt auf dem Boden, *b* ein 10,5 Meter höher gelegener Punkt, und jeder der folgenden Punkte *c*, *d*, *e* u. s. w. liege immer wieder um 10,5 Meter höher als der nächst tiefere. Da nach dem Mariotte'schen Gesetze die Dichtigkeit der Luft dem Drucke proportional ist, unter welchem sie sich befindet, so muss die Luftschicht *bc* weniger dicht sein als *ab*, und zwar werden sich die Dichtigkeiten dieser Schichten verhalten wie die Barometerstände in *a* und *b*, d. h. die Dichtigkeit der Schicht *bc* ist $\frac{759}{760}$ von der Dichtigkeit der Schicht *ab*. Wenn man also von *b* nach *c* steigt, so wird das Barometer nicht abermals um 1 Millimeter, sondern nur um $\frac{759}{760}$ Millimeter fallen. Der Barometerstand in *c* ist demnach:

$$760 - \frac{759}{760} = \frac{759}{760} (760 - 1) = \frac{759^2}{760} = 760 \left(\frac{759}{760} \right)^2 \text{ Millimeter.}$$

Auf diese Weise können wir weiter schliessen, dass sich die Dichtigkeiten der Schichten *bc* und *cd* verhalten wie die Barometerstände in *b* und *c*, dass also die Schicht *cd* $\frac{759}{760}$ mal leichter ist als die Schicht *bc*.

Wenn also die Luftschicht *bc* einer Quecksilbersäule von $\frac{759}{760}$ Milli-

metern das Gleichgewicht hält, so kann die Schicht *cd* nur eine Queck-

silbersäule von $\frac{759}{760} \times \left(\frac{759}{760} \right) = \left(\frac{759}{760} \right)^2$ Millimeter tragen, und wenn

sich von *c* bis *d* erhebt, so muss das Barometer um $\left(\frac{759}{760} \right)^2$ Milli-

metern fallen. In *d* ist also der Barometerstand

$$760 \left(\frac{759}{760} \right)^2 - \left(\frac{759}{760} \right)^2 = 760 \left(\frac{759}{760} \right)^3 \text{ Millimeter.}$$

Dies reicht hin, um das Gesetz zu übersehen: in e wird der Barometerstand $760 \left(\frac{759}{760}\right)^4$, in f wird er $760 \left(\frac{759}{760}\right)^5$ sein etc. Wenn sich also n mal 10,5 Meter über a erhebt, so ist der Barometerstand $760 \left(\frac{759}{760}\right)^n$.

Ist an einem Orte der Barometerstand $B = 760 \left(\frac{759}{760}\right)^m$, an einem anderen höher gelegenen $b = 760 \left(\frac{759}{760}\right)^n$, so ist die Höhendifferenz beider Orte $(n - m)$ mal 10,5 Meter.

Aus den Gleichungen

$$B = 760 \left(\frac{759}{760}\right)^m$$

$$b = 760 \left(\frac{759}{760}\right)^n$$

folgt

$$\log. B = \log. 760 + m \cdot \log. \frac{759}{760},$$

$$\log. b = \log. 760 + n \cdot \log. \frac{759}{760}.$$

Zieht man die letzte Gleichung von der vorhergehenden ab, so bekommt man

$$\log. B - \log. b = (m - n) \log. \frac{759}{760}$$

und

$$\log. B - \log. b = (n - m) 0,0005718$$

$$n - m = \frac{\log. B - \log. b}{0,0005718}.$$

Da aber die Höhendifferenz H der beiden fraglichen Orte 10,5 $(n - m)$ Meter ist, so haben wir auch

$$H = 10,5 \frac{\log. B - \log. b}{0,0005718}$$

$$H = 18363 (\log. B - \log. b)$$

oder endlich

$$H = 18363 \log. \frac{B}{b} \text{ Meter} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

Für alt französisches Maass hat man die Gleichung

$$H = 56521 \log. \frac{B}{b} \text{ par. Fuss} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .$$

anzuwenden.

Da der Quotient $\frac{B}{b}$ und folglich auch die Differenz $\log. B - \log. b$ unverändert bleibt, mit welcher Einheit auch die Barometerstände B und b gemessen sein mögen, so kann man nach Belieben, sowohl in Gleichung 1) als auch in Gleichung 2) die Barometerstände B und b in Metern oder in Pariser Linien oder in irgend einem anderen Maasse ausdrücken.

Nach dieser Formel ist der mittlere Barometerstand einer Höhe
a 1500 Pariser Fuss über dem Meere 715^{mm} oder 26" 5''' Par. M.

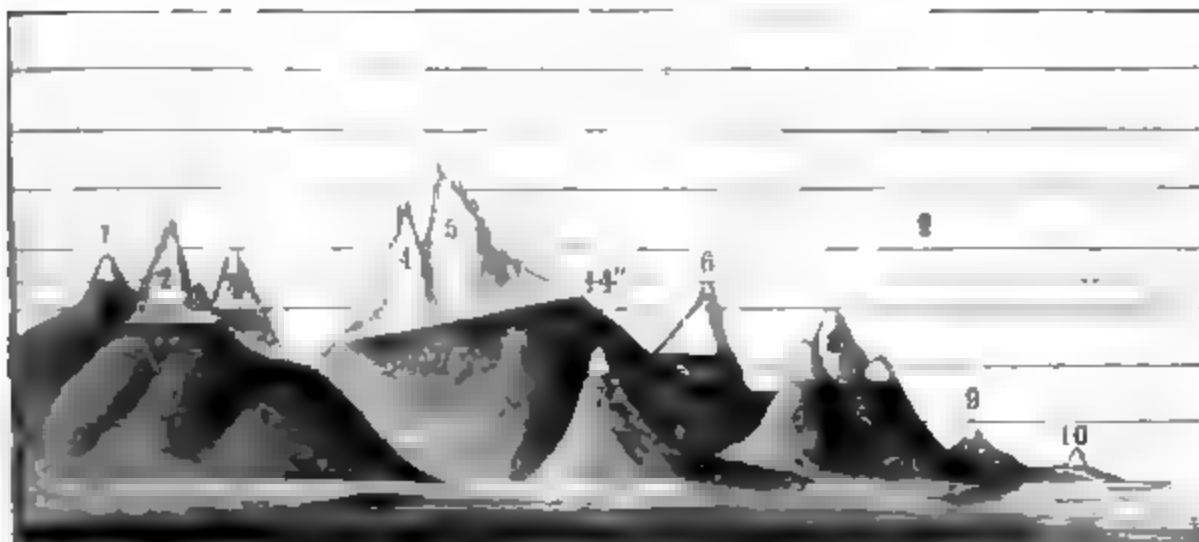
3000	"	"	"	"	673	"	24	10	"
6000	"	"	"	"	595	"	22	0	"
9000	"	"	"	"	527	"	19	6	"
18000	"	"	"	"	365	"	13	6	"
27000	"	"	"	"	252	"	8	5	"

Aus unserer Formel ergibt sich nun auch leicht, wie hoch man steigen müsse, wenn das Barometer auf die Hälfte des normalen Barometerstandes am Meere fallen soll. Setzt man $B = 760$, $b = 380$, so folgt Gleichung 2) $H = 16972$ Pariser Fuss.

Erhebt man sich abermals um 16972 Fuss, so muss das Barometer $\frac{1}{4}$ seines Standes am Meere fallen u. s. w.

In Fig. 298 ist die Höhe, für welche der mittlere Barometerstand beträgt, durch eine punktirte Horizontallinie bezeichnet.

Fig. 298.



Setzt man in unserer Gleichung 2) $B = 760$ und $b = 1$, so folgt $H = 162448$. In einer Höhe von 160000 Fuss, also von nahe 8 geographischen Meilen, ist also der Luftdruck bereits so gering, dass er nur noch eine Quecksilbersäule von 1 Millimeter zu tragen im Stande ist; in einer Höhe von 8 Meilen über dem Meeresspiegel ist also die Luft schon so ver-
dünn, wie wir es kaum mit den besten Luftpumpen erreichen können.

In den unteren Schichten der Atmosphäre wiegen ungefähr 113 Cubikfuss Luft 1 Pfund, eben so viel wiegen in einer Höhe von 8 Meilen 84000 Cubikfuss.

208 Höhe der Atmosphäre. So nimmt denn die Dichtigkeit der Luft mit zunehmender Erhebung über den Boden fortwährend ab, bis sie allmählig unmerklich wird und selbst auf die empfindlichsten physikalischen Instrumente nicht mehr zu wirken vermag. Was von Luft die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedes ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, weshalb nimmt man in der Regel an, dass die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe Gränze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Sie findet eben in den höheren Luftregionen ein allmählicher Uebergang in unendlichen Verdünnung Statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, dass diese Höhe sehr klein ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 1700 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältniß der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 Fuss Durchmesser, welche von einer nicht ganz 1 Linie dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegebenen Gränze verschwindet die Luft des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen vorliegt, und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

209 Abweichung barometrisch berechneter Höhe von der wahren. Die Gleichungen 1 und 2 des §. 207 würden richtige Werthe für die Höhenunterschiede H liefern, wenn nicht alle die Voraussetzungen erfüllt wären, unter denen sie aufgestellt sind. Es gehen an, welche man gleichzeitig voraussetzt, dass die Temperatur t und t' beobachtet ist, weil die Temperatur der Luft zwischen der unteren Station bis zur Höhe der oberen Station gleich sein muss. Wenn die Temperatur dieser ganzen Luftsäule aber gleich ist, d. h. gleich der Temperatur an unserer Beobachtungsorte, so wird die barometrisch berechnete Höhe H die wahre Höhe sein.

Wenn die Temperatur der Luft zwischen der unteren Station und der Höhe der oberen Station nicht gleich ist, so wird die barometrisch berechnete Höhe H von der wahren Höhe H' abweichen. Die Abweichung ist gegeben durch die Gleichung:

Die Abweichung ist gegeben durch die Gleichung: $H - H' = \frac{B}{\gamma} \left(\frac{t + t'}{2} - t' \right)$, wenn B die Barometerhöhe an der unteren Station, γ die Dichtigkeit der Luft an der unteren Station, t die Temperatur der Luft an der unteren Station, t' die Temperatur der Luft an der oberen Station ist.

Temperatur: t und t' sind die Temperaturen der Luft an der unteren und oberen Station.

Wenn die Temperatur der Luft zwischen der unteren Station und der Höhe der oberen Station nicht gleich ist, so wird die barometrisch berechnete Höhe H von der wahren Höhe H' abweichen.

		Lufttemperatur.		Barometerstand auf 0°.		Berechn. Höhe.
		Genf.	St. Bernh.	Genf.	St. Bernh.	
		<i>T</i>	<i>t</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>H</i>
J a n u a r	0h Mittag	+ 2,1° C.	— 6,5° C.	727,53	560,91	2069,2 ^m
	2	+ 2,65	— 6,4	726,85	560,70	2068,5
	4	+ 2,2	— 7,6	726,91	560,88	2059,2
	6	+ 1,15	— 8,2	727,15	561,00	2055,8
	8	+ 0,55	— 8,3	727,39	561,15	2053,5
	10	+ 0,1	— 8,35	727,49	561,21	2051,8
	12	— 0,3	— 8,5	727,34	561,08	2050,1
	14	— 0,5	— 8,6	727,10	560,78	2050,3
	16	— 0,6	— 8,6	726,96	560,55	2051,5
	18	— 0,8	— 8,7	727,15	560,66	2051,1
	20	— 0,7	— 8,4	727,42	560,93	2051,6
	22	+ 0,6	— 7,6	727,65	561,20	2058,5
Mittel		+ 0,50	— 7,97	727,24	560,93	2056,0
J u l i	0h	+ 22,1	+ 8,8	727,66	568,52	2099,9
	2	+ 23,0	+ 9,0	727,27	568,53	2099,1
	4	+ 22,9	+ 8,5	727,00	568,53	2093,7
	6	+ 21,8	+ 7,3	726,94	568,57	2084,2
	8	+ 19,5	+ 6,1	727,36	568,73	2074,0
	10	+ 17,5	+ 5,7	727,82	568,89	2068,3
	12	+ 16,0	+ 5,1	727,97	568,77	2064,0
	14	+ 14,5	+ 4,3	727,87	568,42	2059,3
	16	+ 13,8	+ 3,8	727,85	568,14	2059,2
	18	+ 15,0	+ 4,4	727,98	568,14	2067,0
	20	+ 18,4	+ 5,9	728,13	568,34	2083,7
	22	+ 20,4	+ 7,9	727,97	568,45	2094,8
Mittel		+ 18,13	+ 6,56	727,71	568, 0	2079,0

Das Rühlmann'sche Werkchen enthält die entsprechenden für alle 12 Monate des Jahres.

Die 6te Verticalreihe obiger Tabelle enthält unter *H* die *a* gleicher Horizontalreihe stehenden Daten berechnete Höhe von *hard* über Genf, während die letzte Verticalreihe unter *D* an

el die barometrisch berechnete Höhe grösser (+) oder kleiner (—)
die trigonometrisch bestimmte.

a dieser Tabelle tritt nun die schon erwähnte tägliche Periode
eutlich hervor; das Maximum der berechneten Höhen fällt auf die
sstunde, das Minimum dagegen auf die Nachtstunden und zwar
meisten Monaten auf 4 Uhr Morgens. Ferner ergibt sich aus
trachtung dieser Tabellen, dass in unseren Zonen die günstigsten
zur Anstellung barometrischer Höhenmessungen in den verschie-
Monaten folgende sind:

Im Januar: Mittags 12 ^h					
Februar Vormittags 10 ^h und Nachmittags 4 ^h					
März	"	8	"	"	6
April	"	7	"	"	7
Mai	"	7	"	"	7
Juni	"	6	"	"	9
Juli	"	6	"	"	9
August	"	7	"	"	8
September	"	8	"	"	6
October	"	10	"	"	4
November	11	11	"	"	2
December Nachmittags 1 ^h					

er Unterschied zwischen dem täglichen Maximum und Minimum
rechneten Höhen beträgt für den Monat

Januar . . . 19,1 Meter	Juli 40,7 Meter
Februar . . 39,8 "	August . . . 40,6 "
März 32,4 "	September . 35,7 "
April 41,8 "	October . . . 26,1 "
Mai 37,1 "	November . 18,5 "
Juni 35,9 "	December . . 11,1 "

e Amplitude, um welche die berechneten Werthe der Höhendiffe-
rischen St. Bernhard und Genf schwanken, sind also am kleinsten
Monaten December, November und Januar, am grössten im April,
d August.

e aus den Tages- und Monatsmitteln der meteorologischen Beob-
en berechneten Höhen zeigen eine jährliche Periode, wie
s der folgenden Tabelle ersieht, welche auch zeigt, dass die Am-
der jährlichen Periode viel kleiner ist, als die der täglichen.

	Temperatur.		Barometerstand		Berech- nete Höhe.	D
	Genf.	St. Bern- hard.	Genf.	St. Bern- hard.		
	<i>T</i>	<i>t</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>H</i>	
Januar . . .	+ 0,50	— 7,97	727,24	560,93	2056,0	
Februar . . .	+ 0,91	— 9,12	727,23	560,37	2061,2	
März	+ 4,63	— 7,82	723,08	558,02	2069,2	
April	+ 9,82	— 2,56	726,69	563,52	2070,9	
Mai	+ 14,50	+ 1,63	726,10	565,35	2072,4	
Juni	+ 16,64	+ 3,82	727,07	566,83	2078,5	
Juli	+ 18,75	+ 6,39	727,66	568,50	2079,5	
August	+ 18,13	+ 6,56	727,71	568,71	2075,0	
September . .	+ 14,62	+ 3,82	728,35	568,06	2068,0	
October	+ 10,56	+ 0,17	726,59	565,21	2059,8	— 11
November . . .	+ 5,20	— 4,64	725,60	561,64	2060,6	— 9
December . . .	+ 0,65	— 8,13	727,55	561,13	2056,7	— 13
Mittel	+ 9,57	— 1,47	726,74	564,02	2067,2	— 1

Die Jahresmittel der meteorologischen Beobachtungen geben
hen, welche sich von den wahren Werthen nur wenig entfernen.

Die Monatsmittel geben im Winter zu kleine, im Sommer
grosse Höhen.

Weichen selbst die aus Mittelwerthen der Barometer- und Ther-
meter-Beobachtungen berechneten Höhenunterschiede nicht unbedeut-
von den wahren ab, so lässt sich erwarten, dass dies für isolirte B-
achtungen noch weit mehr der Fall sein wird und zwar selbst für (
deren Entfernung in horizontaler Richtung nur gering ist. So fin
wir z. B. im 4. Jahrgange der schweizerischen meteorolo
schen Beobachtungen für den 26. December 1866 Morgens 7 U

in Zürich (Sternwarte)

$B = 726,1^{mm}$

$T = - 6,8^{\circ} C.$

auf dem Uetliberg

$b = 692,2^{mm}$

$t = + 1,5^{\circ} C.$

woraus sich aus Gl. 2) Seite 587 ergibt

$H = 377$ Meter,

während der wahre Höhenunterschied zwischen der Züricher Sternwa
und dem Uetliberg 394 Meter beträgt. Die berechnete Höhe ist a
um 17 Meter, also um $\frac{1}{23}$ des wahren Höhenunterschiedes zu kle
während der kleinste der in der Tabelle auf Seite 588 zusammengesetz-
ten berechneten Höhenunterschiede zwischen Genf und St. Bernhard
um $\frac{1}{126}$ des wahren Höhenunterschiedes falsch ist.

Ursache der Abweichung der barometrisch bestimmten Höhenangaben liegt, wie Rühlmann nachgewiesen hat, darin, dass die

Fig. 299.



Wärme der Luftsäule über der unteren Beobachtungsstation sich nicht so rasch ändert, wie das arithmetische Mittel der Thermometerablesungen an den oberen und unteren Stationen. Es sei *A*, Fig. 299, die obere, *Z* die untere der beiden Stationen und *a* ein Punkt, welcher mit *A* in gleicher Höhe vertical über *Z* liegt, so setzt man bei der Berechnung nach der Gleichung

$$H = 18400(1 + \alpha D) \log. \frac{B}{b} \quad . \quad . \quad 2)$$

voraus, dass

$$D = \frac{T + t}{2},$$

die mittlere Temperatur der Luftsäule *Za* gleich sei dem arithmetischen Mittel zwischen den beiden gleichzeitig in *Z* und in *A* gemessenen Temperaturen. Setzt man in Gl. 2) für *H* die wahre Höhe, so erhält man die wahre mittlere Temperatur der Luftsäule *Za*

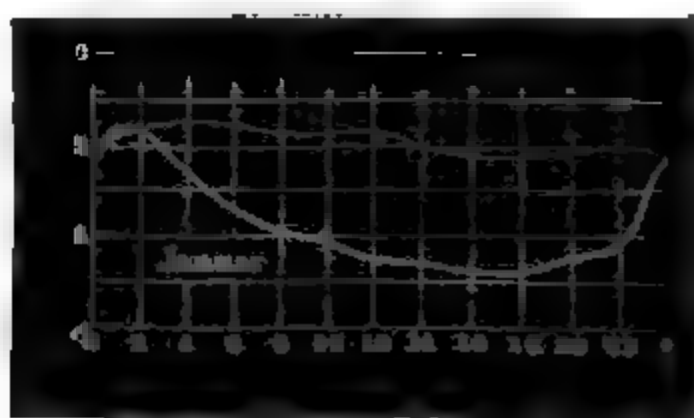
$$D = \frac{\alpha}{1} \left(\frac{H}{18400} \log. \frac{B}{b} - 1 \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Nach Gl. 3) berechneten Werthe von *D* weichen aber wesentlich von den entsprechenden Werthen von $\frac{T + t}{2}$, die wir als die beobachteten mittleren Temperaturen bezeichnen wollen, ab, wie man aus der Zusammenstellung für die Monate Januar und Juli ersieht.

		Mittlere Lufttemperatur.				Mittlere Lufttemper.	
		Beobachtete	Wahre			Beobachtete	Wahr
		$\frac{T + t}{2}$	D			$\frac{T + t}{2}$	D
Januar	0h	— 2,2° C.	— 2,1	Juli	0h	15,5	1
	2	— 1,8	— 1,9		2	16,0	1
	4	— 2,7	— 1,5		4	15,7	1
	6	— 3,5	— 1,6		6	14,5	1
	8	— 3,6	— 1,7		8	12,8	1
	10	— 4,1	— 1,7		10	11,6	1
	12	— 4,4	— 1,7		12	10,5	1
	14	— 4,5	— 2,0		14	9,4	1
	16	— 4,6	— 2,2		16	8,8	1
	18	— 4,7	— 2,2		18	9,7	1
	20	— 4,5	— 2,1		20	12,1	1
	22	— 4,1	— 2,0		22	14,1	1
Mittel		— 3,7	— 1,9	Mittel		12,5	

Nach dieser Tabelle ist in Fig. 300 und Fig. 301 der Gang der wahren und der beobachteten mittleren Lufttemperatur

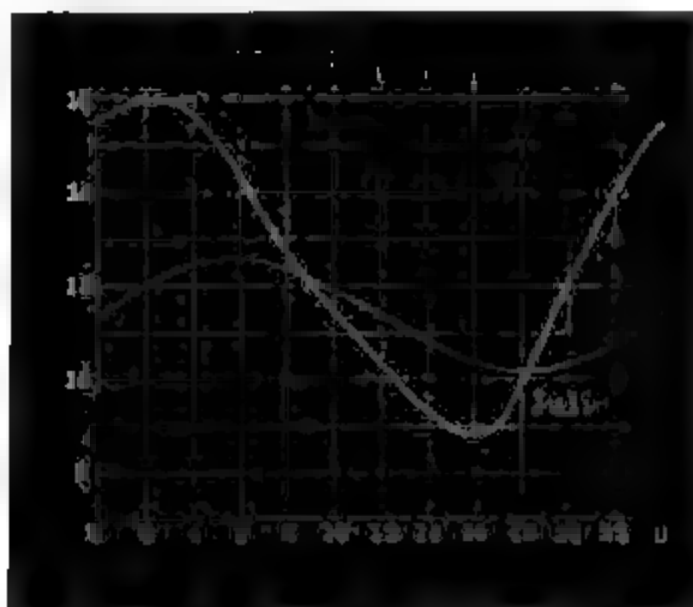
Fig. 300.



Monate Januar und Juli graphisch dargestellt und zwar stellt die ausgegangene Curve den Gang der beobachteten, die fein ausgezogene dagegen den Gang der wahren Lufttemperatur dar. Die beiden Curven schneiden sich für diejenigen Stunden, für welche die

ih berechnete Höhe mit der trigonometrisch bestimmten überein-

Fig. 301.



ergleicht man auf die angegebene Weise die wahre mittlere Luft-
temperatur der Monate mit der beobachteten, so findet man die Werthe
folgenden Tabelle:

M o n a t	Mittlere Lufttemperatur.	
	Beobachtete	Wahre
	$\frac{T + t}{2}$	D
Januar	— 3,6	— 1,8
Februar	— 4,1	— 3,0
März	— 1,6	— 1,5
April	+ 3,1	+ 3,5
Mai	+ 8,0	+ 7,7
Juni	+ 10,2	+ 9,1
Juli	+ 12,5	+ 11,3
August	+ 12,3	+ 11,6
September	+ 9,2	+ 9,5
October	+ 5,9	+ 6,7
November	— 0,3	+ 1,6
December	— 4,4	— 2,0
Mittel	+ 4,0	+ 4,19

Man erkennt aus diesen Tabellen, dass sich die Luft bei weitem nicht in dem Maasse und nicht so rasch erwärmt, wie es die Thermometer an den Beobachtungsstationen zeigen, sie nimmt nur wenig und gleichsam zögernd Antheil an den täglichen und jährlichen Schwankungen der Temperatur an der Erdoberfläche.

Die Maxima und Minima der Lufttemperatur treten sowohl bei den täglichen als auch bei der jährlichen Periode später ein, als die an den Thermometern beobachteten Maxima und Minima. So sieht man z. B. in Fig. 301, dass das beobachtete tägliche Temperaturmaximum im Juli auf 2 Uhr, das Maximum der wahren Lufttemperatur aber erst auf 6 Uhr Nachmittags fällt, während die Zeit des wahren Minimums ungefähr um 2 Stunden später eintritt als das des beobachteten.

Der Grund dieser Erscheinung ist offenbar darin zu suchen, dass der Erdboden eine sehr grosse Absorptionsfähigkeit für Wärmestrahlen besitzt, dass er sich also unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stark erwärmt, durch nächtliche Strahlung dagegen stark abkühlt, während die Luft, als ein sehr diathermaner Körper, sich unter dem directen Einflusse der Sonnenstrahlen nur wenig erwärmt, dagegen aber auch Nachts durch Strahlung wenig Wärme abgibt. Die an den Beobachtungsstationen angebrachten Thermometer sind nun sehr von der strahlenden Wärme des Erdbodens und der Umgebung influirt, sie werden also den bedeutenderen und rascheren Temperaturschwankungen der Erdoberfläche folgen müssen und können nicht den wahren Gang der Temperatur in den höheren Luftschichten angeben.

210 Ursachen der Barometerschwankungen. Die letzte Ursache aller Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen streben, und so ist die Luft in beständiger Bewegung; bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

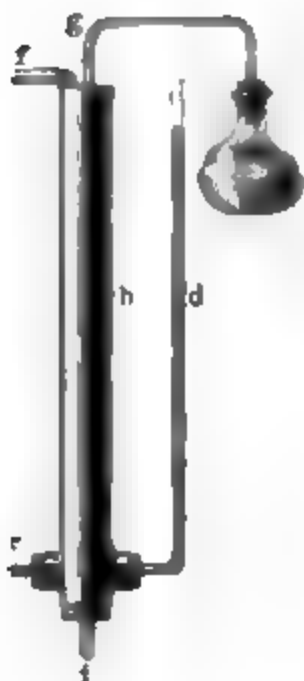
Dass wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, dass sie in den Tropen, wo die Temperatur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind; in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr gross: ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen der Barometers kleiner als im Winter.

Im Allgemeinen kann man leicht darthun, dass die ungleiche

Die Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Luftdrucks zur Folge haben muss.

Wenn irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so hebt sich die Luftsäule über die Luftmasse, welche in den Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muss also an jenen Orten abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken. In den kälteren Umgebungen aber muss das Barometer steigen, weil die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts strömende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden ver-

anschaulicht dies durch den Apparat Fig. 302. Die Blechröhren von 1½ bis 2 Fuss Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden sind. Mit der Blechröhre *a* ist die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* ist die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Wasser giesst, so wird dasselbe nur langsam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fließen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* fast bis oben füllt und sie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung setzt, so muss sich das Wasser in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch stellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes Glasrohr *g* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelst einer Wein-



entwickelten Wasserdämpfe hindurchgeleitet werden. In der Figur ist der Kolben *h* neben die Röhre *d* gezeichnet worden; es ist aber, wenn er, was sich in der Figur nicht so gut hätte darstellt, hinter *b* sich befindet.

Wenn Rohr *g* mit kaltem Wasser umgeben ist, so werden die in dem Kolben *h* entwickelten Dämpfe verdichtet, und das Wasser in *b* wird erwärmt. Wenn zwischen *a* und *b* gar keine Verbindung wäre, so würde die in *b* steigen, ohne dass das Wasser in *d* steigt, weil *b* erwärmt, *d* aber kalt bleibt; da aber die Röhren *b* und *a* oben durch Heberrohr *f* verbunden sind, so kann das Wasser in *b* nicht höher als in *a*, ein Theil des in *b* erwärmten Wassers fließt nach *a*, in Folge dessen sinkt das Wasser in *d*, in *c* aber steigt es, weil es schon in *a* vorhandenen Wasser noch neues durch den Heberrohr kommt.

Wenn eine hinlänglich weite Röhre, so würde das Wasser in allen

vier Röhren stets gleich hoch bleiben, weil in dem Maasse, als warmes Wasser durch f nach a fliesst, unten umgekehrt kaltes Wasser durch e nach b fließen, weil sich also das gestörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herstellen würde; dies ist aber nicht möglich, weil die Röhre e zu enge ist. Ebenso wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck zu, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht schnell genug der erwärmten Gegend zuströmen kann, um das gestörte Gleichgewicht sogleich wieder herzustellen.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht; die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen. Da wo ein warmer Luftstrom weht, müsste die Atmosphäre eine grössere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe sein sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfliessen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muss also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Dieser Umstand erklärt auch, dass der mittlere Barometerstand an Meere zwischen dem 60. und 70. Breitengrade so gering ist; die Luft, welche von südlichen Gegenden herkommt, verliert mehr und mehr ihren Wassergehalt, der Druck, den sie ausübt, muss also nach und nach abnehmen.

Nach der eben entwickelten Ansicht ist das Sinken des Barometers eine Erscheinung, welche das Wehen warmer Winde begleitet, während kalte Winde ein Steigen des Barometers veranlassen; im Allgemeinen wird also das Thermometer steigen, wenn das Barometer fällt. Dies ist auch in der That der Fall, und zwar tritt dieser Gegensatz im Gange der beiden Instrumente am deutlichsten im Winter auf. Fig. 5 auf Tab. 2, welche den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen ist, zeigt den Gang der mittleren täglichen Temperatur (obere Curve) und des mittleren täglichen Barometerstandes (untere Curve) daselbst vom 1. Januar bis zum 20. Februar 1837; man sieht, wie in der That das Barometer gewöhnlich steigt, wenn das Thermometer fällt, und dass ein barometrisches Minimum meistens mit einem thermometrischen Maximum zusammenfällt.

Die Beobachtungen anderer Jahre und anderer Orte geben dasselbe altat.

Wenn dieser Gegensatz im Sommer nicht so rein auftritt, so ist der Grund davon darin zu suchen, dass die an sich warmen Südwestwinde im Sommer doch eine kühlere Temperatur zur Folge haben, weil, wenn sie wehen, der Himmel meist bewölkt ist und dadurch die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen verhindert wird, während die abkühlende Wirkung der Nordostwinde dadurch neutralisirt wird, dass sich bei heiterem Himmel durch die kräftig wirkenden Sonnenstrahlen der Boden bedeutend erwärmt. Damit hängt auch die geringe Amplitude der Barometerschwankungen im Sommer zusammen.

Da die Südwestwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, dass im Allgemeinen ein hoher Barometerstand heiteres Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwestwind auch manchmal heiter; sie sind jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, dass bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwind dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitt wahr. Wir können uns von diesen Anomalien keine Rechenschaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Dass ein hoher Barometerstand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An

Ausflüssen des La Platastromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen, die Nordwinde; die warmen Nordwestwinde aber, bei welchen das Barometer sinkt, sind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, dass dort der Regen durch kalte Winde gebracht wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während umgleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

Die tägliche Periode der Barometerschwankungen ist wesentlich durch die Veränderungen im Feuchtigkeitszustande der Luft bedingt; wir werden deshalb auf diesen Gegenstand zurückkommen, wenn wir die Veränderungen werden kennen gelernt haben, welche der Wasserdampf der Luft im Laufe des Tages erleidet.

Atmosphärische Ebbe und Fluth. Nachdem es Newton 211 Jahren war, die Erscheinungen der Ebbe und Fluth der grossen Ozeane

auf die Massenanziehung der Sonne und des Mondes zurückzuführen. Ist die Idee nahe, dass diese beiden Himmelskörper auch eine atmosphärische Ebbe und Fluth veranlassen müssen. Eine atmosphärische Fluth wird aber das Barometer steigen, eine atmosphärische Ebbe wird es sinken machen, das Barometer wird uns also Auskunft über das Vorhandensein der atmosphärischen Ebbe und Fluth und über den Einfluss geben, welchen dieselbe auf die Grösse des Luftdrucks ausübt.

Die durch die Sonnenmasse erzeugten Veränderungen des Barometerstandes fallen so vollständig mit den anderweitigen täglichen Variationen zusammen, dass sie nicht davon getrennt werden können. Der Mondfluth fällt aber zur Zeit der Syzygien mit der Sonnenfluth zusammen, während zur Zeit der Quadraturen die Mondebbe mit der Sonnenfluth zusammenfällt. Der Einfluss, welchen die Massenanziehung des Mondes auf den Barometerstand ausübt, wird also darin bestehen, dass derselbe zur Zeit der Syzygien etwas erhöht, zur Zeit der Quadraturen etwas erniedrigt erscheint.

Aus den von Bouvard auf der Pariser Sternwarte von 1815 bis 1823 dreimal täglich (9 Uhr Morgens, Mittags und 3 Uhr Nachmittags) angestellten Beobachtungen berechnete La Place, dass der Betrag der atmosphärischen Mondfluth nur 0,0544 Millimeter betrage, ein Werth, welcher sich noch auf 0,0176 Millimeter reducirte, als Bouvard nach den La Place'schen Formeln diese Grösse aus den von 1815 bis 1823 fortgesetzten Barometerbeobachtungen ableitete.

Auch O. Eisenlohr findet, zweiundzwanzigjährige Beobachtungen der Pariser Sternwarte zusammenstellend, dass der Einfluss des syzygischen Mondlaufes auf den Barometerstand sehr unbedeutend sei. Nach seiner auf S. 185 des LX. Bandes von Poggendorff's *Annales* gegebenen Zusammenstellung ist der mittlere Barometerstand für Neumond und Vollmond selbst noch um 0,008^{mm} tiefer, als für das erste und letzte Viertel.

Hier dürfte wohl der geeignetste Ort sein, den Einfluss des Mondes auch auf andere meteorologische Erscheinungen zu betrachten. Aus 15jährigen Beobachtungen hat Mädler nachgewiesen, dass der Mond einen, wenn auch unbedeutenden Einfluss auf die Lufttemperatur ausübt. Aus 114jährigen Beobachtungen hat Buys-Ballot nachgewiesen, dass für die Niederlande wenigstens an jedem der sieben auf einander folgenden Tage, von welchen zwei seiner grössten nördlichen Declinationen angehen, die anderen fünf ihr folgen, die Lufttemperatur um 0,11° höher steht, als an den sieben gerade gegenüberstehenden Tagen. Ebenso, dass es vom 12. bis 19. Tage seines Alters, also um den Vollmond, um 0,09° R. wärmer ist, als zur Zeit des Neumondes.

Schübler und Eisenlohr stimmen darin überein, dass wenigstens für Südwest-Deutschland die nördlichen und östlichen Winde am häufigsten in der Zeit zwischen dem letzten Viertel und dem Neumond, am seltensten aber zur Zeit des Vollmondes wehen. Nach Schübler

er, sein Druck und seine Strömungen. 599

it der südlichen und westlichen Winde zur Zeit zwischen dem ersten Viertel und dem Vollmond) Winde zur Zeit des letzten Viertels wie 1,37 zu 1. giebt sich für dieses Verhältniss 1,21 : 1.

ung äussern die Mondphasen einen unverkenn-
Maximum der heiteren Tage auf die Zeit des
Octanten, das Minimum der hellen Tage
fällt. Aus den Beobachtungen zu Augu-
h die Zahl der trüben Tage zu der

des Vollmondes,
letzten Viertels.
Maximum der heiteren Tage auf

adphasen auf Windrichtung und Bewölkung
ieselben auch einen Einfluss auf die Regenmenge
auch durch Schübler und Eisenlohr bestätigt
erhält sich nach Schübler die Zahl der Regen-
eiten Octanten zu der des letzten Viertels wie 97
ngen dieser Perioden verhalten sich aber wie 301

er Winde. Wenn man im Winter die in einen 212

Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und
an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig.
ie nach aussen gerichtete Flamme einen von dem
warmen Zimmer nach dem kalten Raume
gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun
mit der Kerze mehr und mehr herunter,
so stellt sich die Flamme immer mehr auf-
recht, ungefähr in der halben Höhe der
Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier
nicht durch Luftströmungen afficirt; bringt
man sie aber noch weiter herunter, so wird
die Flamme von aussen nach innen getrie-
ben. Man sieht also, dass die erwärmte
Luft oben aus- und dass dagegen unten die
kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Wie hier im Kleinen die ungleiche Er-
wärmung der beiden Räume Luftströmun-
gen veranlasst, so ist auch die ungleiche
stets wechselnde Erwärmung der Erdober-
r ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der
wir Winde nennen. Auch im Grossen sieht man
er erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe

nach den kälteren abfliessen, während unten die Luft von den kühleren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein vom Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer; über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fliesst nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch im Meere schon in grösserer Entfernung von der Küste; zwischen 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Dann erhebt sich das Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmel; das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Dem eben Gesagten zufolge sind die Land- und Seewinde local an eine tägliche Periode gebundene Erscheinungen, welche nur rein auftreten können, wenn sie nicht durch die allgemein herrschenden Luftströmungen gestört oder doch modificirt werden.

Selbst den Ufern grösserer Landseen, z. B. denen des Bodensees sind die Land- und Seewinde nicht fremd; sehr merklich treten sie an den grossen nordamerikanischen Landseen auf.

Die in Hochgebirgen auftretenden Morgen- und Abendwinde, welche man unter dem Namen der Thalwinde zusammenfassen kann, sind eine den Land- und Seewinden verwandte Erscheinung. Während den Morgenstunden die Thalsohle und die sie einschliessenden Bergflanken durch die Sonnenstrahlen mehr und mehr erwärmt werden, theilt diese Erwärmung zunächst den unteren Luftschichten mit, welche sich dann ausgedehnt längs der Bergabhänge aufsteigen und so den Bergwind veranlassen, während nach Sonnenuntergang die an den steileren erkaltenden Berggipfeln abgekühlte Luft sich längs der Bergflanken in das Thal herabsenkt.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welche enorme Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten auf der Erde fällt, welche ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muss, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, ist klar, dass durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und dass die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen will, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet,

Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird. Dass auf diese Weise, also gleichsam durch Saugen, häufig Winde, und namentlich Stürme erzeugt werden, dafür sprechen zahlreiche Erfahrungen. Warentin bemerkt, dass der Westwind in der Regel zu Moskau eher als beobachtet wird, obgleich letztere Stadt bedeutend westlicher liegt Moskau; auch bläst dieser Westwind in Finnland oft eher als in Schweden.

Franklin erzählt, dass, als er zu Philadelphia eine Mondfinsterniss beobachten wollte, er daran durch einen Nordoststurm verhindert wurde, welcher sich gegen 7 Uhr Abends einstellte und den Himmel mit dichten Wolken überzog; er war überrascht, einige Tage nachher zu erfahren, dass der Sturm zu Boston, welches ungefähr 300 englische Meilen nordöstlich von Philadelphia liegt, erst um 11 Uhr Abends angefangen hatte, nachdem schon die ersten Phasen der Mondfinsterniss beobachtet worden waren. Indem er alle Berichte aus den verschiedenen Colonien mit einander verglich, bemerkte Franklin durchgängig, dass dieser Nordoststurm an verschiedenen Orten um so später sich eingestellt hatte, je weiter sie nach Norden lagen.

Es ist bekannt, dass zwischen Häusern der Wind oft in anderer Richtung weht als über den Gebäuden, weil durch diese die Windrichtung auf mannigfache Art modificirt wird. Gerade so wie die Häuser kennen aber auch die Gebirge locale Störungen in der Windrichtung bekommen.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, dass in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

Passatwinde und Moussons. Als Columbus auf seiner Entdeckungsfahrt nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, da sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Die in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Schiffe dabei so gering, dass die spanischen Seeleute diesen Theil des atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. In der Südsee weht dieser Wind; die spanischen Schiffer liessen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind im Mittel bis

zum 28., im grossen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. der nördlichen Hälfte der heissen Zone ist die Richtung des Passatwind eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt; dort aber hat derselbe eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch treten sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande ganz ungestört auf.

Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmt und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch diese vertical Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüssen entgegen, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter, mässiger Winde unmöglich machten.

Die Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Auf der Karte Tab. XXIII sind die Gegenden, wo regelmässige Calmen herrschen, durch einen rothen Farbenton ausgezeichnet. Die Region der Calmen fällt, wie man sieht, nicht mit dem Aequator zusammen, sondern ihre Mitte liegt ungefähr 6° nördlich von demselben. Während der Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter und seine nördliche Gränze entfernt sich noch vom Aequator, während gleichzeitig die südliche Gränze der Region des Nordostpassats weiter nach Norden rückt; die Gränzen dieser Region in der Wanderung im atlantischen Ocean ersieht man aus der folgenden Tabelle:

	Nördliche Gränze des Nordostpassats.	Nördliche Gränze der Region der Calmen.	Südliche Gränze der Region der Calmen.
Winter	24 $\frac{1}{2}$ ° nördl. Br.	5 $\frac{1}{2}$ ° nördl. Br.	2 $\frac{1}{2}$ ° nördl. Br.
Frühling	25°	5 $\frac{3}{4}$ °	1 $\frac{1}{2}$ °
Sommer	26 $\frac{1}{2}$ °	11 $\frac{1}{2}$ °	3 $\frac{1}{4}$ °
Herbst	25 $\frac{1}{2}$ °	10°	3 $\frac{1}{4}$ °
Jahresmittel	25° nördl. Br.	8 $\frac{1}{4}$ ° nördl. Br.	2 $\frac{3}{4}$ ° nördl. Br.

n sieht aus dieser Tabelle auch, dass die Südgränze der Calmen-
re Lage im Laufe des ganzen Jahres nur wenig ändert.

as die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt,
enbar von der Configuration der Continente her.

on Halley hat die Grundursache der Passatwinde richtig er-

Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in
steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Sei-
strömt oben wieder nach den Polen hin ab. Dass aber der Pas-
auf der nördlichen Halbkugel nicht ein reiner Nord-, auf der
Halbkugel nicht ein reiner Südwind, sondern vielmehr Nordost
ost ist, das ist, wie Halley zeigte, eine Folge der Umdrehung
um ihre Axe.

näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer
sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fort-
, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom
entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der

Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als
ator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequa-
führt wird, so gelangt sie mit geringerer Rotationsgeschwindig-
Ländern an, welche sich schneller von Westen nach Osten be-
in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden
die Luft eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Be-
combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden
g auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nordost-, auf der süd-
er zu einem Südostwinde.

in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fliesst in der
ch beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergies-
e Richtung dieses oberen Passats ist natürlich der des unte-
de entgegengesetzt, sie ist in der nördlichen Halbkugel eine
tliche, in der südlichen Halbkugel eine nordwestliche.

s in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher
eren entgegengesetzt ist, lässt sich durch Thatsachen beweisen;
z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulcans
guina im Staate Guatemala die Asche bis in die Höhe des obe-
ats geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so
auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Luft-
der Nordostpassat herrschte.

grösserer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat
d mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Pics von
herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel
re Passat weht.

indischen Ocean ist die Regelmässigkeit der Passatwinde durch
guration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, nament-
durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile
schen Oceans, zwischen Neuhollland und Madagaskar, herrscht

noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein dicker Nordostwind. Diese regelmässig abwechselnden Winde den Moussons oder Monsuns genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum September, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine grössere Wärme muss natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Ocean Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calcutta trennt.

Das Wehen des Südostpassats wird zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Ozeans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, verwandelt sich in einen Südwestwind, weil sich nun der asiatische Continent sehr stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden veranlasst, welche durch die Rotation der Erde in einen Süden verwandelt wird.

In kleinerem Maassstabe wiederholt sich die Erscheinung der Passate an den Küsten von Oberguinea in Afrika und an der Westküste von Südamerika vom 5. Grade südlicher Breite bis zur Landenge von Panama.

214 Winde in höheren Breiten. Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich auf der nördlichen Hemisphäre als Südwestwind, auf der südlichen aber als Nordostwind den Boden; ausserhalb der Region der Passatwinde gehen die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht ineinander, sondern neben einander her, sie streben einander seitig zu verdrängen; bald erlangt der Südwest, bald der Nordost (auf der südlichen Hemisphäre bald der Nordwest, bald der Südost) die Ueberhand und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die vorherrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmässige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons in den Tropen.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitt 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

inder.	N.	N.-O.	O.	S.-O.	S.	S.-W.	W.	N.-W.
l	82	111	99	81	111	225	171	120
ich	126	140	84	76	117	192	155	110
land	84	98	119	87	97	185	198	131
rk	65	98	100	129	92	198	161	156
en	102	104	80	110	128	210	159	106
d	99	191	81	130	98	143	166	192
erika	96	116	49	108	123	197	101	210

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass im westlichen Europa die Süd- und Südwestwinde entschieden vorherrschen; besonders ist dies in England der Fall. In Russland dagegen sind die Nordost- und Nordwestwinde vorherrschend.

Der Südwestwind, welcher im westlichen Europa vorherrscht, ist auf dem atlantischen Ocean zwischen Europa und Nordamerika der herrschende Wind, und daher kommt es, dass die Ueberfahrt von England nach Nordamerika in der Regel länger dauert als die Rückfahrt. Dampfschiffe, welche zwischen Liverpool und New-York fahren, legen den Hinweg durchschnittlich in 40, den Rückweg in 23 Tagen zurück.

Im westlichen Europa vorherrschenden Südweststrome, welcher die warmen Gewässer des atlantischen Oceans gestrichen ist und durch mit Wasserdämpfen beladen hat, verdankt dieses Land sein mildes Klima. Auch tritt in Europa der Charakter des Seeklimas, nämlich milde Winter und kühle Sommer mit häufigem Regen, in solchen Gegenden auf, in welchen der Südwestwind häufiger weht; in solchen Gegenden hingegen, in welchen die nordöstliche Strömung länger herrscht, nähert sich der Charakter der Witterung mehr dem des Continentalen Klimas. So wehten z. B. im Jahre 1816 zu Paris die Nord-, Nordost- und Südostwinde 111 Tage, die übrigen Regen bringenden aber 255 Tage lang, und dieses Jahr war bekanntlich ein ungewöhnliches; die Regenmenge betrug 54,5^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war nur 15,6°, die des kältesten 2,6°. Im Jahre 1826 dagegen zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südostwinde 156 Tage, die übrigen 209 Tage lang; die Regenmenge betrug im Jahre nur 47,2^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war 21,2°, die des kältesten — 1,7°. Das Jahr 1826 war also ein kaltes, sein Sommer heisser, und sein Winter kälter als im Jahre 1816.

Wenn in gewissen Gegenden der nördlichen Hemisphäre die Süd- und Südwestwinde die herrschenden sind, so sollte man meinen, dass in anderen Gegenden der Nordoststrom vorherrschen müsse, da doch die Luft zum

Aequator zurückkehren muss. Dove meint, dass die Krümmung Isothermen darauf hindeutet, dass über die Continente der alten neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme über die zwischenliegenden Oceane aber zwei südliche, die sich eine gewisse Strecke weit über die Continente ausbreiten.

Die Existenz eines vorherrschenden Nordoststroms im Inneren Continente ist jedoch von Anderen in Zweifel gezogen worden, in der That zeigen alle bis jetzt gemachten Erfahrungen, dass in hohen Breiten der nördlichen Hemisphäre entweder Südwest- oder Westwinde vorherrschen. Es scheint darin aber ein Widerspruch zu liegen, scheint nämlich, als ob auf diese Weise dem Pole mehr Luft zuströmt als nach dem Aequator zurückkehrt. Dieser Widerspruch lässt sich heben, wenn man bedenkt, dass der Südweststrom wärmere, verdichtete Luft mit sich führt, besonders aber, dass er eine Menge von Wasserdämpfen nach höheren Breiten bringt, welche, hier condensirt, als Regen oder Schnee niederfallen; nach dem Aequator strömt aber nun ihre Wasserdämpfe beraubte Luft in nordöstlicher Richtung zurück, muss also in der That dem Pole eine grössere Gasmenge zuströmen, ein Theil dieser Gase, nämlich der Wasserdampf, nicht in Gasform dem Aequator zurückströmt.

215 Gesetz der Winddrehung. Obgleich bei einer oberflächlichen Betrachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu sein scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, dass die Winde in der folgenden Ordnung auf einander folgen:

Süd, Südwest, West, Nordwest, Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd.

Am regelmässigsten lässt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove schon mit folgenden Worten geschildert:

„Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollendet durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt, es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut das fallende kältere Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmählig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen die Richtung ihres Entstehens den oben eingetretenen südlicheren Wind. Das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nicht von weiss und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne Südost, der Himmel berührt

Endlich immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei Südost und Süd fallende Schnee bei Südwest wieder in Regen. Nun geht von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhebung getrennt.“

Nicht immer lässt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von West nach Ost, Nord, West, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Dove hat das Gesetz der Winddrehung auf folgende Weise erklärt: Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an solche Orte, welche eine grössere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch Nordost in Ost über. Auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so kehrt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der grösseren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen und Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch grösserer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmäligen südwestlich und dann westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muss der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passats kehrt nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, dass die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

216 Barometrische und thermometrische Windrose. Es ist schon mehrfach erwähnt worden, dass die Windrichtung einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer hat. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der acht Hauptwinde an mehreren Orten Europas in Millimetern an.

Winde.	London.	Paris.	Berlin.	Moskau
Nord	759,20	759,09	758,68	743,37
Nordost	760,71	759,49	759,36	745,06
Ost	758,93	757,24	758,77	743,90
Südost	756,83	754,03	754,69	741,74
Süd	754,37	753,15	751,33	740,63
Südwest	755,25	753,52	752,57	740,34
West	757,28	755,57	756,00	741,06
Nordwest	758,03	758,78	756,62	741,76

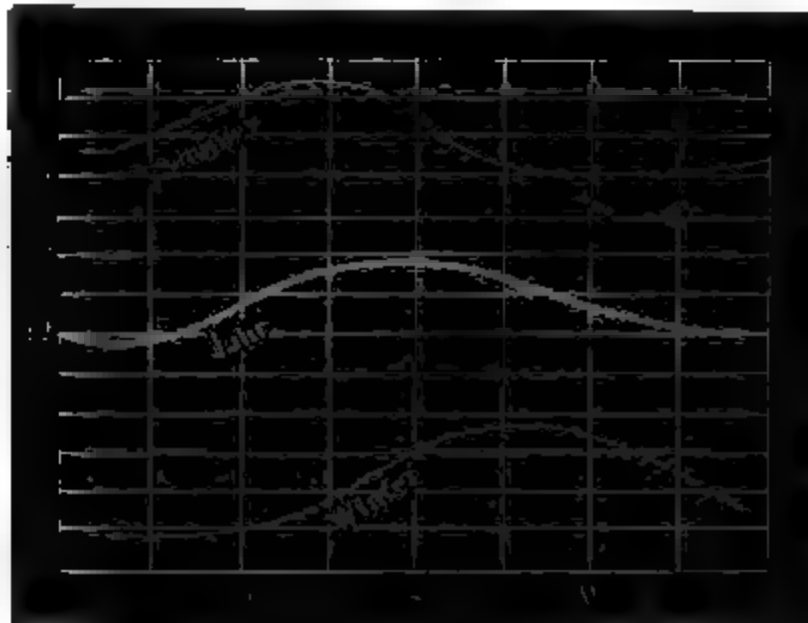
Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage an welchen im Laufe des Jahres ein und derselbe Wind weht, addirt man die mittlere Temperatur dieses Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an.

Winde.	Paris.	Carlsruhe.	London.	Moskau
Nord	12,03	9,88	8,00	1,21
Nordost	11,76	8,30	7,63	1,44
Ost	13,50	8,51	8,38	3,13
Südost	15,25	12,20	9,50	4,63
Süd	15,43	12,61	10,00	5,96
Südwest	14,93	11,00	10,13	5,69
West	13,64	12,20	9,25	5,40
Nordwest	12,39	11,50		3,33

Nach dieser Tabelle ist für Paris die mittlere der drei Curven in Fig. 304 construirt. Man sieht, wie für Paris, sowie für die andern

brten Orte, die Temperatur der Luft im Durchschnitt für die nörd-
Winde niedriger ist als für die südlichen.

Fig. 804.



Die oberste und unterste der drei Curven zeigen, wie sich im Durch-
schnitt die mittlere Temperatur im Sommer und im Winter zu Paris (und
östlichen Europa überhaupt) mit der Windrichtung ändert. Es
zeigt sich hier zwischen Sommer und Winter ein entschiedener Gegen-
satz. Im Sommer bringen Südwest-, West- und Nordwestwinde die nie-
drigere Temperatur, während im Winter gerade die Südwest- und West-
winde eine Erhöhung der Lufttemperatur zur Folge haben, und die
Kälte bei Nord-, Nordost- und Ostwinden stattfindet. Der Grund
ist leicht einzusehen. Die westlichen Winde kommen über das
Meer zu uns und überziehen den Himmel meistens mit einer Wolken-
hülle, welche sowohl die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrah-
lung am Tag, als auch die Erkaltung desselben durch Ausstrahlung der
Boden bei Nacht verhindert. Im Sommer ist die Wirkung der Sonnen-
strahlung bei Tag, im Winter dagegen ist die nächtliche Strahlung über-
wiegend, die Wolkenhülle hindert also im Sommer die stärkere Erwär-
mung, im Winter die stärkere Erkaltung des Bodens. Dagegen werden
immer diejenigen Winde eine grössere Wärme bringen, welche den
Himmel heiter machen, während im Winter gerade bei heiterem Himmel
die beste Kälte eintreten muss.

Leichte Winde. Da die Luft ihre Wärme von dem Boden emp- 217
fängt, auf welchem sie ruht, so ist es begreiflich, dass die Temperatur
abhängt von der Beschaffenheit der Gegenden, von welchen
sie kommen. Winde, welche von den mit Schnee und Eis bedeckten
Gegenden kommen, bringen eine niedrige Temperatur mit, und selbst
im Sommer ist in unseren Gegenden der erkaltende Einfluss der Nord-
winde nicht ganz verwischt. Obgleich der Nordost den Himmel hei-
ter macht, so ist er doch ein kalter Wind.

ter macht und die kraftvolle Einwirkung der Sonnenstrahlen in dieser Jahreszeit ermöglicht, so findet um diese Zeit doch die grösste Hitze Statt, wenn Ost- und Südostwinde wehen.

Die Meeresoberfläche wirkt im Allgemeinen ermässigung auf die Temperatur der Luft, weil das Wasser selbst die Wärmestrahlen weniger absorbirt als das Festland, und weil eine bedeutende Wärmemenge bei der auf dem Meere fortwährend stattfindenden Verdunstung gebunden wird.

Wo die Sonnenstrahlen nahe rechtwinklig auf einen nicht durch eine Pflanzendecke geschützten Fels- oder Sandboden fallen, da wird der Boden ausserordentlich stark erhitzt werden, und diese hohe Temperatur wird sich auch der Luft mittheilen, welche auf dem erhitzten Boden ruht; es ist deshalb begreiflich, dass die Winde, welche von vegetationslosen Wüsten der Tropen oder ihren benachbarten Landstrichen kommen, sich durch eine hohe Temperatur auszeichnen.

Die von der Wüste her wehenden heissen und trockenen Winde führen in verschiedenen Gegenden verschiedene Namen. In Arabien, Persien und den meisten Gegenden des Orients wird dieser heisse Wind Samum (Giftwind) genannt; in Aegypten, wo er im Frühjahr ungefähr 50 Tage lang weht, heisst er Chamsin (fünfzig), an den westlichen Grenzen der Sahara in Senegambien und Guinea führt er den Namen Harmattan.

Alle Berichte stimmen darin überein, dass sich die Annäherung der Wüstenwinde schon durch eine Verdüsterung des sonst in jenen Gegenden reinen Horizontes ankündigt. Die Luft verliert ihre Durchsichtigkeit, die Sonne ihren Glanz und, blasser als der Mond, wirft sie keinen Schatten mehr, das Grün der Bäume erscheint als schmutziges Blau. Erregt dies von den Sand- und Staubtheilchen her, welche der Sturm in die Höhe jagt und mit sich fortführt. Gerade dieser Umstand aber trägt dazu bei, die Temperatur der Luft so sehr zu erhöhen; denn wenn der oft bis zu 50° R. erhitzte Sand in die Höhe gejagt wird, so geben die einzelnen Sandkörnchen bald einen Theil ihrer Wärme an die Luft, deren Temperatur dadurch auf 34 bis 38° R. steigt. Dazu ist die Luft ungemein trocken; deshalb verschwindet rasch der Schweiss von der Oberfläche des Körpers, der Gaumen wird trocken, die Respiration schwierig. Ebenso ist das Wasser, welches die Reisenden der Wüste in Schälchen mit sich führen, unter dem Einfluss des Samums einer raschen Verdunstung ausgesetzt. Nur durch diese Trockenheit, nicht etwa durch eigenthümlich giftige Bestandtheile, wie man wohl früher glaubte, ist der Samum gefährlich. (Kämtz, Meteorologie, I. Bd. S. 267.)

In ähnlicher Weise wie bei den Sandwüsten von Asien und Afrika zeigen sich heisse Winde überall da, wo mehr oder weniger vegetationslose Landstriche eine starke Erhitzung des Bodens gestatten. So sind in Neuholland die vom Lande her kommenden Winde fast immer sehr trocken und heiss.

in südlichen Europa finden wir noch sehr heisse Winde, so den Sirocco in südlichen Spanien und den Sirocco in Italien, welcher zu Palermo das Thermometer im Schatten bis auf 36° R. steigen macht. Diese Winde kommen von Afrika her. Auf dem Wege über das Meer verlieren sie zwar etwas von ihrer hohen Temperatur und namentlich der Trockenheit, allein in den Ebenen von Andalusien und über kahlen Felsen von Sicilien werden sie aufs Neue erhitzt, und so es denn, dass der Sirocco zu Palermo weit heisser ist als an den Küsten von Sicilien und auf der Insel Malta. Der Sirocco ist stets heisser, aber an verschiedenen Localitäten bald feuchter, bald trockener, oder Südostwind.

In neuerer Zeit vielfach besprochener warmer und zugleich trockener Wind ist der Föhn, welcher als eine locale Erscheinung auftritt, namentlich in den nordöstlichen Abhängen der schweizerischen Alpen.

Das eigentliche Föhngebiet umfasst den unteren Theil des Rheinthals, den Prättigau, das Rheinthal von Chur bis gegen Altstätten, das Thal von Bludenz (Vorarlberg), die Kantone Appenzell A. und Uri, Schwyz, die östliche Hälfte von Unterwalden und theilweise das Obere Oberland und das obere Rhonethal. Manchmal werden auch in dem eigentlichen Föhngebiet benachbarte Gegenden von föhnartigen Winden getroffen.

Die eigentlichen Föhnzeiten sind Herbst, Winter und Frühling. Im Sommer erscheint der Föhn am seltensten und am schwächsten. Nach den Aussagen der Einwohner der genannten Gegenden frisst der Föhn im Winter den Schnee weg, er bringt die warmen Frühlingswinde, trocknet das Heu auf den Alpen und reift die Trauben in den Thälern. In den Häusern wird das Feuer des Heerdes oder des Kessels sorgsam gelöscht. In vielen Thälern ziehen die Feuerwachen aus zu Haus, um sich von jenem Auslöschen zu überzeugen, da bei Föhnwind die Föhnwindtrocknung alles Holzwerkes durch den Wind ein einziger verwehrter Funke grosses Brandunglück stiften kann. Die beste Auskunft über die physikalische Natur des Föhns verdankt man den innerhalb des Föhngebietes gelegenen schweizerischen meteorologischen Stationen. — In Basel erlebte einen Föhnsturm am 15. und 16. August 1868 zu. Die Lufttemperatur betrug am 16. gegen 11 Uhr Morgens $19,2^{\circ}$ C., während das feuchte Thermometer des Psychrometers (s. den folgenden Paragraph des nächsten Capitels) auf $19,2^{\circ}$ C. stand. Es ergiebt sich, dass die Luft nur 26 Procent des Wasserdampfes enthielt, welcher zu ihrer Sättigung nöthig gewesen wäre.

Trotz der grossen Trockenheit, welche während eines Föhnsturmes in den Thälern herrscht, ist der Himmel doch bewölkt und mit dem Nachlass des Föhns stellt sich Regen- oder Schneefall ein.

Das Barometer fällt während eines Föhnsturmes tief unter seinen normalen Stand. Die Richtung der Föhnstürme geht vorzugsweise von Norden oder von Südost nach Nordwest.

Die hohe Temperatur und die Trockenheit des Föhns hat die Meinung hervorgerufen, als sei er ein die Alpen überschreitender warmer Sirocco und demzufolge suchte man den Ursprung des Föhns in Sahara. Diese Meinung erhielt eine weitere Stütze dadurch, dass den geologischen Untersuchungen von Desor und Escher von Linth die Sahara jüngeren Alters ist, d. h. dass sie sich erst in späteren geologischen Periode über das Niveau des Meeres erhob. Dann eine Erhöhung der Temperatur Europas und die Reduction früher viel ausgedehnteren Gletscher in den Alpen zur Folge gehalten soll; kurz man brachte den Föhn mit dem Aufhören der Eiszeit in einen causalen Zusammenhang.

Gegen diese Ansicht trat zuerst Dove auf, indem er darauf hinwies, dass die von der Sahara aufsteigende trockne Luft in Folge der Rotation der Erde im Allgemeinen nicht nach Norden, sondern nach Nordwest hin abfließen müsse, also nicht die Alpen, sondern das östliche Europa und Westasien treffen müsse, dass nur in Ausnahmefällen die Luft der Sahara nach den Alpen gelangen könne, dass also der Föhn einen vom atlantischen Ocean her über Europa dahin brausenden Aequatorialstrom zurückzuführen sei. Mühlry bezeichnet den Föhn als localisirte Aenderung eines allgemein herrschenden Aequatorialstroms und damit stimmt auch Wild überein, welcher den Föhn gleichfalls einen in Form eines Wirbelsturmes über Europa dahinbrausenden Aequatorialstrom zurückführt, der theilweise auch noch in das Mittelmeer eindringt. Wenn die Axe eines solchen Wirbelsturmes (siehe den ersten Paragraph) ungefähr in der Richtung von Bordeaux nach Moskau hinzieht, so wird, da ein solcher Sturm stets von einer bedeutenden Luftverdünnung begleitet ist, die Luft gleichsam aus den nördlichen Gebirgsthälern herausgesaugt und das Barometer muss bis ganz in die Nähe des Gebirgskammes tief unter seinen mittleren Stand sinken. Auf der Höhe der Alpen kann sich aber dieses Sinken des Barometers nicht vollstrecken, weil die Parthieen des Wirbelsturmes, welche über Nordwest gegen den Wall der Alpen anprallen, hier in ihrem Fortgange aufhalten, eine Stauung der Luft veranlassen werden.

Sehr schön wird dies durch die Untersuchungen Dufours über den Föhnsturm vom 23. September 1866 erläutert. Nach seinen Messungen stand das Barometer an jenem Tage

an den Nordwestküsten Europas um	15 bis 22 ^{mm}	} um den Mitt.
im mittleren und südlichen Deutschland um	10 „ 17	
in der ebenen Schweiz um	6 „ 14	
in den nördlichen Alpenthälern um	4 „ 10	

auf den hochgelegenen Stationen der Alpen- kette um	0,7 bis 1,4 ^{mm}	} ab den Mitt.
zu Athen um	4 „ 5	

Auf der einen Seite der Alpenkette stand also an jenem Föhnstage Barometer unter, auf der anderen Seite stand es über dem Mittel. Auch über die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse während Föhnsturmes geben uns Dufour's Untersuchungen Auskunft. In folgenden kleinen Tabelle (ein Auszug aus der weit umfassenderen Dufour gegebenen) findet man angegeben, wie hoch an den genannten Orten das Thermometer über und um wie viel Procent der Feuchtigkeitsgehalt während des Föhns am 23. September unter dem Mittel aus den drei vorhergehenden und den drei folgenden Tagen stand.

	Temperatur.	Feuchtigkeit.
Basel	+ 3,8° C.	— 9 Procent.
Schwyz	+ 6,5	— 29 „
Altdorf	+ 6,6	— 16 „
Gotthard	+ 0,9	
Faido	— 0,7	+ 14 „

In Faido im Ticinotal, südlich vom Gotthard, war also am 23. September 1866 während des Föhnsturmes die Temperatur der Luft niedriger, der Feuchtigkeitsgehalt aber bedeutender als an den drei vorhergehenden und den drei folgenden Tagen, während nördlich vom Gotthard das Gegentheil stattfand. Während des fraglichen Föhnsturmes war die Temperatur und der Barometerstand im Mittel zu

	Thermometer.	Barometer.
Altdorf	21,8° C.	719 ^{mm}
St. Gotthard	5,2	593
Faido	14,0	701

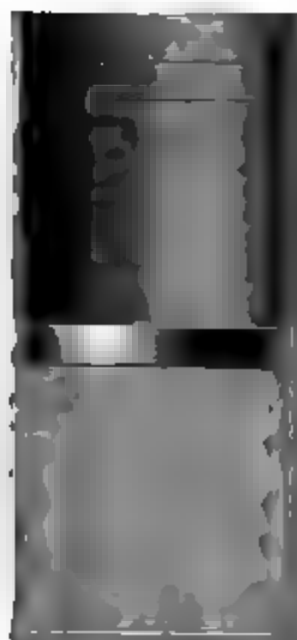
in Faido also zu Altdorf um 16,6° C. wärmer als auf dem Gotthard, während die mittlere Jahrestemperatur für Altdorf die des Gotthard nur um 1° übertrifft.

Die hohe Temperatur und Trockenheit des Föhns in den nördlichen Thälern ist, wie dies von mehreren Naturforschern angedeutet, nachgewiesen aber von Wild und von Hann ausgeführt worden ist, auf den Föhn zurückzuführen, dass die vom Kamm des Gebirges sich rasch abwärts hinabsenkende Luftmasse eine namhafte Verdichtung und in der dabei frei werdenden Wärme eine Temperaturerhöhung erfährt. Wir wollen dies an einem speciellen Beispiel nachweisen. Die von Norden her gegen die Alpen anstürmende Luftmasse ist genöthigt, an der Abhänge des Gebirges in die Höhe zu steigen, mit diesem Aufsteigen ist aber eine Ausdehnung, also auch eine Wärmebindung und Temperaturerniedrigung verbunden, welche aber zum Theil durch die Feuchtigkeit neutralisirt wird, dass die Abkühlung der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft eine theilweise Condensation von Wasserdämpfen, also ein Freiwerden der Wärme zur Folge hat. So kommt es denn, dass während des genannten Föhnsturmes die Temperatur-Differenz zwischen Faido

(nur wenig höher gelegen als Altdorf) und dem Gotthard nur 14° = 8,8° C. beträgt. Auf dem Kamme des Gotthards ist die Luft 5,2° C. unter einem Barometerstand von 593^{mm} mit Feuchtigkeit tigt. Bis Altdorf herabstürzend wird die Dichtigkeit dieser Luft in Verhältniss von 593 zu 719 vermehrt und wir wollen nun berechnen, Temperaturerhöhung eine solche Verdichtung zur Folge haben muss.

Denken wir uns 1 Liter Luft von 593^{mm} Spannkraft in einem Cylinder, Fig. 305, von 1 □-Decimeter Basis durch einen

Fig. 305



lichen Kolben *K* abgesperrt, welcher sich 1 Meter hoch über dem Boden befindet, so muss Kolben um 1,75 Centimeter, oder was dasselbe um 0,0175 Meter hinabgedrückt werden, wenn Spannkraft der eingeschlossenen Luft bis zu gesteigert werden soll. Die Arbeit, welche dieses Niederdrücken des Kolbens geleistet wird nahezu dieselbe, als ob für den ganzen vom zurückgelegten Weg die Spannkraft der Luft eine von 593 bis 719 Millimeter wachsende, eine gleichbleibende, dem Mittel aus den Grenzwerten gleiche, also 656 Millimeter betragen wäre. — Um aber der abgesperrten Luft, wenn Spannkraft 656 Millimeter betrüge, das Gewicht zu halten, müsste der von aussen gegen

Kolben auszuübende Druck $103,3 \frac{656}{760} = 8$

Gramme betragen. Demnach ist die Arbeit, welche geleistet wird, wenn man den Kolben unter den erwähnten Umständen um 0,0175 Meter niederdrückt.

$$89 \cdot 0,0175 = 1,56 \text{ Meterkilogramm.}$$

Dieser Arbeit entspricht aber eine Wärmemenge von

$$\frac{1,56}{425} = 0,00367 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Wenn einer Luftmenge von *q* Kilogrammen eine Wärmemenge *w* Calorien mitgetheilt wird, so beträgt die dadurch hervorgerufene Temperaturerhöhung

$$t = \frac{w}{q \cdot c} \quad$$

in welcher Gleichung man in unserem Falle für *c* die spezifische Wärme der Luft bei constantem Volum, also 0,17, zu setzen hat. Setzt man Gl. 1) ferner *w* = 0,00367, für *q* das Gewicht eines Liters Luft

von 593 Millimeter Spannkraft, also $q = 0,001293 \frac{593}{760} = 0,001$ Kilogramm

$$t = \frac{0,00367}{0,001 \cdot 0,17} = 21,5^{\circ} \text{ C.},$$

also die Luft vom Gotthard bis Altdorf herunterstürzend im an-
 enen Verhältniss comprimirt wird, müsste ihre Temperatur um
 C. erhöht werden, wenn alle durch diese Verdichtung entwickelte
 ne nur der comprimirten Luft selbst zukäme. Obgleich dies aber
 der Fall ist, bleibt doch noch eine Temperaturerhöhung von
 — $5,2 = 16,6^{\circ}$ für die niederstürzende Luftmasse übrig. Diese
 masse muss aber eine sehr trockene sein, da sie nur für $5,2^{\circ}$ mit
 erdampf gesättigt ist.

Eine dem Föhn ganz ähnliche Erscheinung tritt an den südwest-
 Küsten des Caspischen Meeres auf (Jelinek, Zeitschrift für
 rologie II, 161). Ein im Winter plötzlich auftretender Südwest
 rt, obgleich er von dem schneebedeckten Elbrusgebirge herab-
 nicht nur die Temperatur gewaltig, sondern er trocknet alles Holz
 lassen aus, dass der Feuersgefahr wegen jedes Feuer im Lande aus-
 ht werden muss.

Stürme. Die Geschwindigkeit des Windes ist eine sehr veränder- 218
 Grösse. Ein Wind, dessen Geschwindigkeit nicht über 4 Fuss in
 ecunde beträgt, ist kaum merklich. Bei einer Geschwindigkeit von
 8 Fuss in der Secunde ist der Wind angenehm. Ein starker Wind
 0 bis 40, ein heftiger Wind hat 40 bis 60 Fuss Geschwindigkeit in
 ecunde. Geht die Geschwindigkeit des Windes über diese Gränze
 s, so wird er Sturm genannt. Die stärksten Stürme, deren Ge-
 ndigkeit 120 bis 150 Fuss in der Secunde (30 bis 37 deutsche Mei-
 der Stunde) beträgt, werden mit dem Namen Orkane bezeichnet.
 Von der mechanischen Gewalt eines solchen Orkans kann man sich
 Begriff machen, wenn man bedenkt, dass er bei der angegebenen
 windigkeit gegen eine Oberfläche von 1 Quadratfuss, welche der
 ang des Sturmes rechtwinklig entgegengesetzt ist, einen Druck von
 s 50 Pfunden ausübt.

Furchtbar sind in der That die Verheerungen, welche solche Stürme
 rten. Der grosse Sturm, welcher in der Nacht vom 26. auf den 27.
 nber 1703 Frankreich, England und die Niederlande heimsuchte,
 e in England 800 Häuser und 400 Windmühlen um; durch den-
 wurden 250 000 mächtige Baumstämme zersplittert oder entwur-
 100 Kirchen abgedeckt und der Leuchtthurm von Eddystone um-
 fen; 390 Schiffe gingen an der Küste zu Grunde.

Im November 1836 wüthete ein Sturm an den Küsten von Frank-
 und Belgien. In Ostende war kaum ein Haus, welches nicht ent-
 gewesen wäre, und so gross war der Bedarf an Ziegeln, dass ihr
 von 16 auf 30 Gulden fürs Tausend stieg.

Noch weit furchtbarer ist die Gewalt der Orkane in der heissen
 Westindien wird sehr häufig von Stürmen heimgesucht, welche

unter dem spanischen Namen Tornados (Drehstürme) oder dem englischen Hurricanes bekannt sind. Nach einem Sturme, welcher am 1. August 1837 einen Theil der westindischen Inseln verwüstete, sperrten die Trümmer von 36 Schiffen den Hafen von St. Thomas; das Fort am Eingang desselben war so zerstört, als ob es durch eine Batterie eingeschossen worden wäre; Vierundzwanzigpfünder waren von den Wällen heruntergerissen. In St. Bartholome wurden durch diesen Sturm 200 Gebäude zerstört, und von den 33 in Portorico vor Anker liegenden Schiffen konnte keines gerettet werden, obgleich man, durch das bedeutende Sinken des Barometers gewarnt, alle möglichen Vorsichtsmaassregeln getroffen hatte.

Am 10. August 1831 wurde Barbadoes von einem Sturm getroffen, welcher die Umgebung von Bridgetown in eine Wüste verwandelte. Bis auf einige Flecken welken Grüns war alle Vegetation vernichtet. Einige wenige Bäume, welche stehen geblieben waren, gewöhnten, ihrer Blätter und Zweige beraubt, einen kalten, winterlichen Anblick, und die zahlreichen Landsitze in der Nähe von Bridgetown, vorher von dichten Gebüschten beschattet, lagen nun frei in Trümmern.

219 Verminderung des Luftdrucks bei Stürmen. Der tiefste Punkt der Witterungsscala an unseren gewöhnlichen Zimmerbarometern ist mit „Sturm“ bezeichnet, und in der That sind die Stürme stets von einer bedeutenden Verminderung des Luftdrucks begleitet. Während des erwähnten Sturmes vom 2. August 1837 sank zu Portorico das Barometer um 18, zu St. Thomas um 21 Linien. Auf St. Mauritius stand das Barometer am 6. März 1836 Morgens 5 Uhr noch auf 337⁷/₈ und fiel bis zum 8. März um 8 Uhr bis auf 318⁷/₈, während ein furchtbarer Orkan auf der Insel hauste.

Am 18. Januar 1818 fiel das ohnehin schon tief stehende Barometer zu Königsberg um 8 Linien, während ein Sturm von den englischen Küsten bis Memel, auf einer Strecke von 240 Meilen Länge und 41 Meilen Breite, seine verwüstende Kraft äusserte.

Am Weihnachtsabend des Jahres 1821 sank während eines heftigen Sturmes das Barometer zu Brest um 22, zu London um 22, zu Hachen und Paris um 18, zu Strassburg um 16, zu Berlin und Genf um 13 Linien unter den mittleren Stand.

Scoresby empfiehlt den Seeleuten dringend den Gebrauch des Barometers. Durch ein Fallen seines Schiffsbarometers um 9,3 Linien aufmerksam gemacht, entrann er am 5. April 1819 in der Baffinsbai der Gefahren eines zwei Tage lang wüthenden Sturmes.

Jedenfalls sind die Stürme stets die Folge einer bedeutenden Störung im Gleichgewicht der Atmosphäre, und höchst wahrscheinlich rührt diese Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her. Durch eine solche Condensation wird aber nicht bloss unmittelbar eine Luftverdünnung erzeugt, sondern auch, weil bei Rückkehr der Dämpfe

gasförmigen in den tropfbar flüssigen Zustand stets viel Wärme d, ein mächtig aufsteigender Luftstrom, in Folge dessen dann an Seiten die Luft mit Gewalt nach den Orten der Verdünnung strömt, während das Minimum des Luftdruckes selbst eine fortschreitende Bewegung hat.

Das ist die Erklärung, welche Brandes von der Entstehung der Stürme gegeben hat. Dove hat aber nachgewiesen, dass diese Theorie einer wesentlichen Modificirung bedarf, wenn sie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung gebracht werden soll; er hat gezeigt, dass die Windrichtung, wie man sie zu Anfang und zu Ende des Sturmes beobachtet, nicht mit der Annahme eines einfachen, geradlinigen Hinströmens der Luft zum Orte der grössten Luftverdünnung harmonirt, dass vielmehr die Luft um das im Raum fortschreitende barometrische Minimum herumwirbelt, dass die Stürme Wirbel im grossartigsten Massstabe sind. Während des Sturmes vom 24. auf den 25. December 1821 schritt das Minimum des Luftdrucks von Brest bis zum Cap Lindenäs (an der Spitze von Norwegen), also in der Richtung des Pfeils *AC*, (s. f. S.), vor. Nach der früheren Theorie hätte also in London zu Anfang des Sturmes ein Nordost, zu Ende desselben ein Südwest wehen müssen, während in der That zu London die Windfahne anfangs Südost zeigte und dann rasch in Nordwest umschlug.

Die Dove'sche Sturmtheorie schreitet in der nördlichen gemässigten Zone die barometrischen Minima, also die Mittelpunkte der Wirbelbewegung in der Richtung von Südwest nach Nordost vorwärts, in der Rotationsrichtung die in der Figur angedeutete ist, nämlich im umgekehrten dem Laufe des Zeigers einer Uhr. — Nach dieser Theorie hätte in der That London Südostwind haben, als die Luft um den Mittelpunkt *C* wirbelte, dagegen musste in London Nordwest wehen, nachdem *C* der Mittelpunkt der Wirbelbewegung geworden war.

Entferntlich von dem Wege, auf welchem die Mittelpunkte der Wirbelbewegung schreiten, muss nach Dove's Theorie, wie man aus der Betrachtung des Punktes *o*, Fig. 306, ersieht, der Wind zu Anfang des Sturmes Südost einsetzen und dann durch S, SW, W nach WNW umschlagen, was zu Harlem wirklich stattfand. In Orten, welche von dem Mittelpunkte des Sturmes entfernter liegen, wie *r* oder *s*, muss der Wind nach der Theorie zu Anfang des Sturms S oder SSW, zu Ende desselben Südwest sein, und in der That drehte sich zu Karlsruhe während des Sturmes die Windfahne von S nach SW.

Auf der Northwestseite des Sturmes schlägt der Wind von OSO (Südost), NO, N nach NNW um.

Für die Seefahrer ergeben sich daraus folgende praktische Regeln, welche in der nördlichen gemässigten Zone so viel als möglich dem Bereich des gefährlichen Wirbelsturmes zu entgehen: Wenn bei stark fallendem Barometer der Wind als Südost einsetzt und sich durch Süd nach Südwest umdreht, so muss das Schiff nach Südost hinsteuern; setzt hin-

gegen der Wind in östlicher Richtung ein, um nach Nord hin umzuschlagen, so muss das Schiff nach Nordwesten steuern (Dove in Pogendorff's Annual. LII.).

Fig. 306.



Redfield in New-York ist durch sorgfältige Untersuchungen gekommen, welche die an den Küsten der Vereinigten Staaten Stürme begleiten, ganz zu denselben Resultaten gelangt, welche für Europa erhalten hatte.

220 Richtung der Stürme in der heissen Zone. Die tropischen Stürme hat Reid, Gouverneur der Bermudas-Inseln, welches Material in einem Werke niedergelegt, welches im Jahre 1854 in London unter dem Titel „An attempt to develop the law of storms“ erschienen. Aus Reid's Untersuchungen ergibt sich, dass auch die Stürme der tropischen Zone Wirbel sind.

Die Richtung, in welcher die Wirbel rotiren, ist für die Mitte der heissen Zone dieselbe, wie die im vorigen Paragraphen traktete; dagegen schreiten die westindischen Hurrikane in

von Südost nach Nordwest vor, so lange sie in der tropischen Zone; sobald sie aber in die gemässigte Zone gelangen, biegen rechtwinklig um und gehen nun von Südwest nach Nordost, wie auf dem Kärtchen Fig. 307 sieht, welches den Verlauf des

Fig. 307



Sturmes darstellt, welcher in der Mitte August 1837 die östlichsten der westindischen Inseln traf.

Von den zahlreichen Beispielen, welche Reid für dieses Verhalten der westindischen Stürme beibringt, wollen wir nur noch eines anführen. Der dicht bei den kleinen Antillen vorbeistreifende Sturm vom August 1830 traf St. Thomas am 12., war am 13. in der Nähe der Turks-Inseln, am 14. bei den Bahamas, am 15. an den Küsten von

am 16. längs der Küste von Georgien und Carolina, am 17. von Virginien, Maryland und New-York, am 18. auf der Bank und Cap Sable, am 19. auf der New-Foundlandsbank. Die Geschwindigkeit dieses Sturmes betrug also im Durchschnitt $13\frac{1}{2}$ Meilen in der Stunde. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Sturm über-

Fig. 308.



haupt fortschreitet, ist übrigens wohl zu unterscheiden von der ungleich grösseren Geschwindigkeit, mit welcher die Luft in den Wirbeln fortgerissen wird.

Auf der südlichen Hemisphäre ist die Richtung der Sturmwirbel die entgegengesetzte von der bisher betrachteten. Innerhalb der heissen Zone geht das Minimum des Luftdrucks in der Richtung von Nordost nach Südwest voran, biegt aber beim Uebergang in die südliche gemässigte Zone in die nordwestliche Richtung um, wie das Kärtchen Fig. 308 zeigt, welches

den Verlauf eines Sturmes darstellt, welcher im März 1809 die Insel St. Mauritius traf.

Die unter dem Namen der Tyfoons in den chinesischen Meeren bekannten Stürme schreiten von O nach W oder von OSO nach WNW fort, während die Rotationsrichtung der Wirbel dieselbe ist wie auf dem nördlichen atlantischen Ocean.

221 Tromben und Wasserhosen. Wir haben bisher nur Wirbelwinde im grossartigsten Maassstabe betrachtet; ganz ähnliche Erscheinungen finden aber auch im kleinsten Maassstabe Statt. Oft nicht nur an heissen Sommertagen bei sonst ruhigem Wetter, dass Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei nahenden Gewittern sieht man schon grössere Luftwirbel der Art, welche ausser Staub und Sand noch Blätter, Stroh, kleine Baumzweige u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Wirbelwinde von grösseren Dimensionen und grösserer mechanischer Gewalt werden Wettersäulen oder Tromben genannt. Wahrscheinlich werden sie durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehenden Winde erzeugt. Wenn solche Wirbel über Land hinwegziehen, so bilden sie aus dem aufgewühlten Staub einen oben an Breite abnehmenden Kegel, welcher den Weg des Wirbels von weitem sichtbar macht; zieht aber der Meteor über das Meer, über Seen oder Flüsse hin, so wird in gleicher Weise das Wasser in wirbelnder Bewegung mit in die Höhe gerissen und so entstehen die Wassertromben oder Wasserhosen.

Solche Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser zu zudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern. Man giebt im 36. Bande von Poggendorff's Annalen eine sehr instructive Beschreibung einer am 1. Mai 1835 zu Coblenz beobachteten Trombe, welcher wir Folgendes entnehmen.

Um halb drei Uhr bildete sich am Fusse des Alexander-Forts, in der Felde von Neuendorf, ein Wirbelwind, der rasch zu einer furchterlichen Stärke heranwuchs, Sand und Staub aufwühlte und mit sich fortführte. Er nahm seine Richtung von Nordwest nach Südost, gerade auf die Landspitze zu, welche das linke Rhein- und das linke Moseler Ufer miteinander bilden. Eine Frau, welche mit einem Korbe auf dem Kopfe aus dem Felde kam, wurde durch die Trombe zu Boden geworfen und der Korb hoch durch die Luft auf die andere Rheinseite fortgeführt. Die Staubwolke, welche wirbelnd über die Erde fortzog, war grau von Farbe und undurchsichtig. Sie hatte eine schräge Lage nach der Richtung des Windes, in den höheren Regionen mit dem oberen und breiteren Theile nach vorn, den unteren schmäleren gleichsam nach sich ziehend. Sie hatte die scheinbare Form eines Trichters, dessen Spitz nach unten gekehrt einen Durchmesser von 30 bis 40 Fuss hatte, dessen oberer Durchmesser aber 3- bis 4mal so gross war. An Höhe hatte sie bald alle nahe gelegenen Häuser weit überstiegen.

Die Bewegung dieser Trombe war von einem fürchterlichen Sausen begleitet. Der erste höhere Gegenstand, welchen sie traf, war eine Saffraserie. Unter fürchterlichem Geprassel wurde das Dach des hinteren Theils losgerissen und über das Hauptgebäude hinweg etwa 40 Schritte ins Feld geschleudert. Fenster wurden zertrümmert, Laden und Thürflügel herausgerissen und Alles weit herumgestreut. Die auf dem Dache aufgehängenen Häute wurden von der Trombe fortgerissen, so dass man sie wie schwarze Vögel hoch in den Lüften dahinfliegen sah. Von da bewegte sich die Trombe rasch gegen die etwa noch 100 Schritte entfernte Mosel hin, wo sich das ganze Schauspiel veränderte. Die Landtrombe wurde nämlich eine Wasserhose; sie wühlte das Wasser in so wildem Brausen auf, dass es auf der ganzen Basis schäumte und auf eine bedeutende Höhe wirbelnd hinaufgezogen wurde, während halb des Wirkungskreises der Wasserspiegel weder gestört noch verändert wurde. Der Durchmesser des Trichters nahm über die Hälfte seines Maximums ab. Auf der Landspitze angekommen, welche das rechte Rheinufer mit dem linken Rheinufer bildet, an der Ecke des ehemaligen Schlosses, schien das Meteor einige Augenblicke stille zu stehen, aber alsbald seinen Weg in gerader Richtung über den Rhein nach Ehrenbreitstein hin fort.

Auf der rechten Rheinseite angekommen, warf es das Wasser 8 bis 10 Ellen hoch auf das Land, nahm ein 60 Ellen langes Stück Leinen oder Bleiche hoch in die Luft, so dass man es wie eine Bandschleife flattern sah. Sieben Bäume von 6 bis 8 Zoll Durchmesser wurden umgeworfen, Aeste von 4 bis 6 Zoll Dicke abgerissen und umhergeschleudert, womit dann das Meteor so ziemlich sein Ende erreichte.

Wenige Minuten nach dem Aufhören desselben fiel ein heftiger Regen mit starkem Hagel.

Fig. 309 a. f. S. stellt eine Wasserhose dar, welche G. vom Rath am 10. März 1858 oberhalb Königswinter beobachtete (Poggend. Ann. CIV, 631). Die Wetterssäule bildete sich zuerst bei dem Dorfe Honnef als Landtrombe, welche Staubmassen aufwühlte; aus den feineren Staubtheilchen entwickelte sich eine als dunkler Streif erscheinende Säule, deren Höhe Rath auf 100 Fuss schätzte. Als die Trombe in ihrer fortschreitenden Geduldigkeit den Spiegel des Rheins erreichte, erhob sich das Wasser am Anfang eines Kreises, dessen Durchmesser 50 Schritte betragen konnte, und bildete eine Schaumsäule, deren Anblick an einen gothischen Thurm erinnerte. Ein mittlerer Strahl sprang hoch über mehrere Seitenhügel hervor, aus der Wolkenmasse aber senkte sich eine helle Wolkenherab, welche sich nach einiger Zeit mit der Spitze der Wasserhose vereinigte, worauf dann der den Wasserspiegel mit den Wolken verbindende Streif seiner ganzen Länge nach in gleicher Breite weiterzog.

Zwischen Rolandseck und Mehlem erreichte die Trombe das linke Rheinufer, um alsbald wieder auf den Rhein zurückzukehren. Das Phä-

nomen endete, nachdem es ungefähr 35 Minuten gedauert hatte, Rhöndorf auf dem rechten Rheinufer.

Von den Häusern, welche die Wettersäule traf, wurden die Zäune heruntergeworfen, starke Aeste wurden von den Bäumen gerissen

Fig. 309.



die Saaten niedergelegt. Die Breite der so bezeichneten Bahn betrug im Durchschnitt 50 Schritt.

Am 8. April 1833 wurde die Gegend von Calcutta von einem Orkan heimgesucht, welcher in Beziehung auf seine Grösse zwischen den eigentlichen Stürmen und den Tromben in der Mitte steht. Einem Durchmesser von 1200 bis 2500 Fuss ging dieser Wirbel 8 bis 10 Meilen östlich von Calcutta vorüber und legte in einem Zeitraum von 4 Stunden einen Weg von 15 englischen Meilen zurück. Er zerstörte über 1200 Fischerhäuser um und tödtete 215 Menschen.

Telegraphische Witterungsberichte. Bereits im Eingangs des ersten Buches der kosmischen Physik ist erwähnt worden, dass ein grosser Unterschied zwischen der Sicherheit astronomischer und meteorologischer Vorhersagen besteht.

her Vorausbestimmungen besteht. Unter vielen anderen Umständen, welche diese Verschiedenheit bedingen, spielt aber auch jeder Umstand eine Rolle, dass die zu einer bestimmten Stunde an einer einzelnen meteorologischen Station gemachten Beobachtungen die Data gar nicht enthalten, aus welchen man etwa auf die Veränderungen schliessen könnte, welche sich im Zustande der Atmosphäre eintreten.

diesem Zwecke ist für den Zeitpunkt, in welchem man die zu erwartenden Witterungsänderungen ermitteln will, die Kenntniss gleichzeitig über einem grösseren Umkreise herrschenden Verhältnisse unumgänglich nöthig, eine solche Kenntniss kann durch den elektrischen Telegraphen vermittelt werden.

Erste, welcher diese Idee realisirte, dürfte wohl Le Verrier sein, welcher der Pariser Akademie nach den auf telegraphische Wege eingegangenen meteorologischen Beobachtungen von verschiedenen Stationen eine Karte vorlegte, welche den atmosphärischen Zustand Frankreichs für den 26. Februar 1855 darstellte. Aus diesem gingen dann später die telegraphischen Witterungsberichte hervor, welche in dem Bulletin international de l'Observatoire de Paris zusammengestellt für jeden Tag eine Uebersicht des Zustandes der Atmosphäre von fast ganz Europa liefern.

Es sind 21 französische (darunter Dünkirchen, Brest, Bordeaux, Bayonne, Lyon, Marseille und Ajaccio) und 42 auswärtigen Stationen (darunter: London, Nairn in Schottland, Valentia in Irland, Greenwich etc.; Algier: Tarifa an der Meerenge von Gibraltar, Palma, Corunna etc.; Neapel: Rom, Neapel, Palermo etc.; 7 russische: Petersburg, Moskau etc.; 3 schwedische: Stockholm, Haparanda am nördlichen Ende des bottnischen Meerbusens etc.; 2 norwegische, 2 portugiesische: Lissabon und Oporto; 2 niederländische und endlich Bern und Brüssel) bis zur Belagerung von Paris jeden Tag die Morgens im Sommer um 7 und im Winter um 8 Uhr angestellten meteorologischen Beobachtungen, nämlich: der auf das Niveau des Meeres reducirte Barometerstand, Temperatur, Richtung und Stärke des Windes, der Zustand des Himmels und der Zustand des Meeres für die Seestädte nach Paris telegraphirt. Diese Weise eingelaufenen Nachrichten über den Luftdruck wurden (vorzugsweise im Interesse der Schifffahrt) an 15 verschiedene Städte (darunter 6 französische) telegraphirt, so z. B. nach Florenz für die italienischen Küsten, nach Wien für die östliche Küste des adriatischen Meeres, nach Brüssel und Utrecht für die Nordsee, nach Stockholm, Lissabon, Madrid und Bern. Sämmtliche in Paris einkommenden Data werden aber in dem täglich durch die Post verbreiteten Bulletin international zusammengestellt, welchem seit 1867 eine Karte von Europa mit der Lage der Isobaren (Linien gleichen Barometerstandes) für jeden Tag beigegeben ist. Die Figuren sind 315 sind die Copieen von 6 solchen dem Bulletin ent-

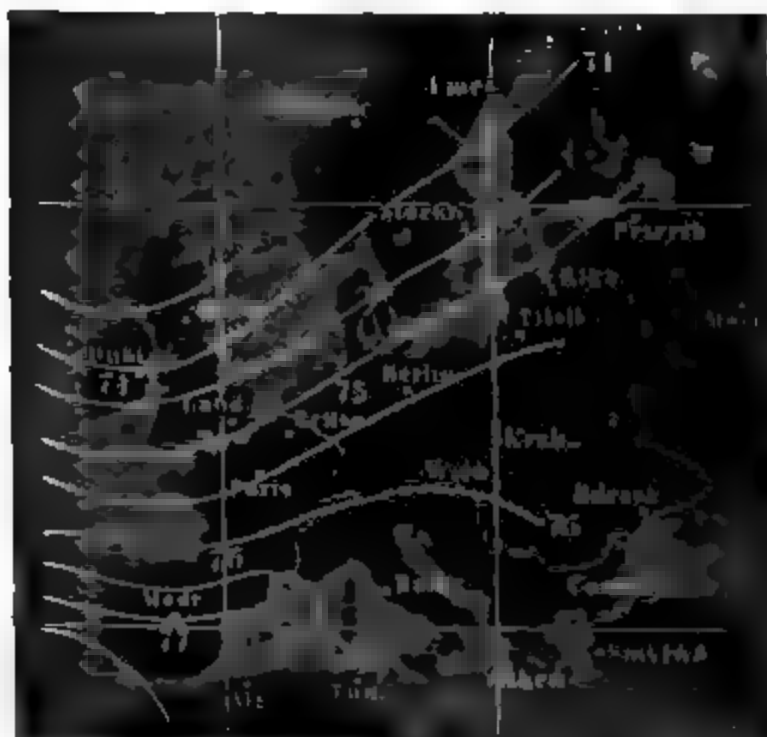
genommenen Kärtchen. Die mit 74, 75 78 bezeichneten (entsprechen einem Barometerstand von 740, 750 780 Milli-

Fig. 310.



10. Januar 1867.

Fig. 311.



5. Februar 1867.

Kleinheit des Maassstabes wegen die Barometerstände der stationen weggelassen und die Windpfeile des Beispiels halber nur da aufgetragen.

Die Curve zwischen 74 und 75 verbindet die Stationen für welche im letzten Momente des Tages der Barometerstand 745 war. Die Curve zwischen 75 und 76 spricht den Barometerstand von 755 an. Die Karte Fig. 311 am 10. Januar 1867 8 Uhr in der Nacht von Cambridge in der Theil der Nacht herrscht hat.

In dem Kärtchen Bulletin international für jede Station der physisch gemeldete Barometerstand eingetragen die Windrichtung einen kleinen Pfeil angesetzt. Die Stärke des Windes ist durch die Länge des Pfeiles angedeutet, wobei ein Pfeil von einer Seite des Pfeiles um so zahlreicher gezinkt ist, je heftiger weht. Ein Pfeil ohne Seitenstriche bezeichnet einen schwachen Wind. Ein Pfeil mit einem seitlichen Strich

(→) bezeichnet einen stärkeren Wind. Je mehr dieser Striche sind. Sechs Striche (→→→→→) oder (→→→→→) sind das Zeichen des heftigsten Sturmes. In den Kärtchen

der tabellarischen Zusammenstellung der telegraphisch ein-
Data und der erwähnten Karte enthält das Bulletin unter

Fig. 312



2 März 1867.

Fig. 313



12. Juni 1867.

dem Titel „Situation générale“ noch eine Charakteri-
sirung der Witterungszu-
stände für den genannten
Tag; so z. B. für den 10.
Januar 1867.

Heute giebt es in Eu-
ropa zwei Depressionscen-
tra. Das eine in Russland
entspricht einem Wind-
stoss (bourrasque), welcher
aus nördlichen Regionen
kommend nach Südost fort-
schreitet und zu Haparanda
Schneefall veranlasst. —
Das zweite barometrische
Minimum befindet sich über
der Nordsee; es ist dies
das Centrum des stürmi-
schen Wetters, welches seit
dem letzten Freitag (4. Ja-
nuar) an den Küsten des
Canals La Manche und
des atlantischen Oceans
herrscht. Dieses von Süd-
west nach Nordost fort-
schreitende Centrum ist
durch den Einfluss der
scandinavischen Gebirge in
der Nordsee aufgehalten
worden; es scheint sich
jetzt in südöstlicher Rich-
tung gegen Dänemark und
Polen zu wenden.

In dem Bulletin vom
2. März heisst es: Im
Norden Europas ist der
Druck der Atmosphäre im
Zunehmen; er beträgt
heute Morgen 783^{mm} zu

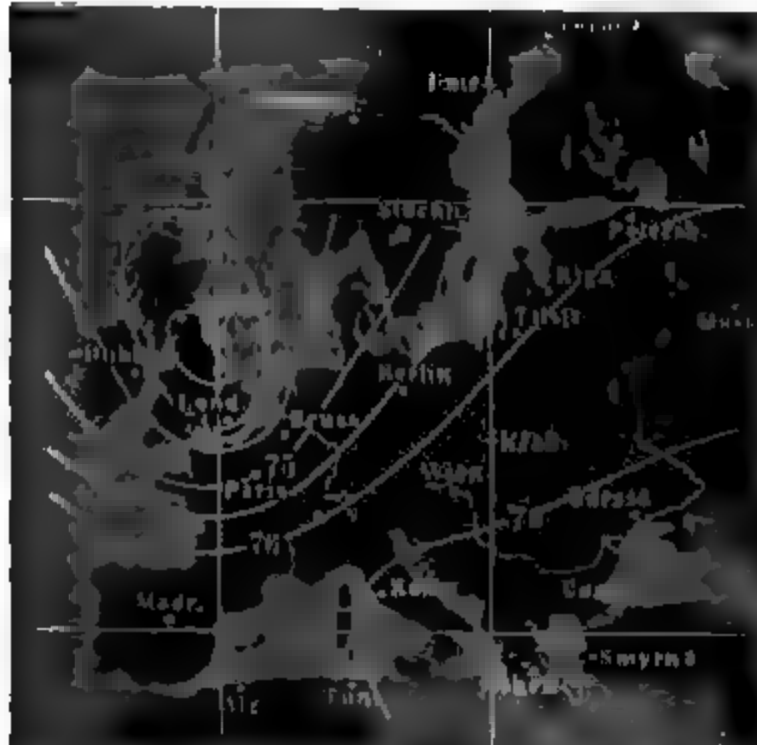
(Norwegen) und Gröningen. Zu Paris ist er 777^{mm}.

Im grössten Theile Europas wehen Nordostwinde und zwar
starker Stärke. Die Erkaltung der Luft wird mehr und mehr
bemerkbar.

merklich. Um 8 Uhr Morgens betrug sie $-2,6^{\circ}$ zu Paris. $-1,0^{\circ}$ Boulogne, $-2,3^{\circ}$ zu Besançon, $-4,3^{\circ}$ zu Wien, $+2,0^{\circ}$ zu Skude-
 $-19,1^{\circ}$ C. zu Petersburg.

Früher enthielten die Pariser Depeschen als Anhang die sogen-
 ten Probabilités, d. h. Vorherbestimmungen der wahrscheinlichen W-

Fig. 314.



3. December 1863.

Fig. 315.



15. November 1864.

rung für den näch-
 Tag. Seit dem 27. Oc-
 ber 1865 ist die Veröf-
 lichung dieser Probabi-
 wahrscheinlich in F-
 von Meinungsverschie-
 heiten zwischen Le-
 rier und Marie D-
 eingestellt worden.

Ein sehr interess-
 und instructives Bei-
 bieten die Witterungs-
 hältnisse vom 15. No-
 ver 1864, 8 Uhr Morg-
 welche, so weit es
 Kleinheit des Maasst-
 erlaubt, in Fig. 315
 gestellt sind. Ein b-
 metrisches Minimum
 729^{mm} befindet sich
 den Westküsten Engla-
 umgeben von einer
 kreisförmigen Isobare
 730^{mm} . Die Isobare
 735^{mm} streift die Wes-
 ten von Irland, schen-
 Schottland, tangirt
 Ostküsten von Schles-
 Holstein und läuft d-
 Holland und Belgien
 der Mündung der Lau-

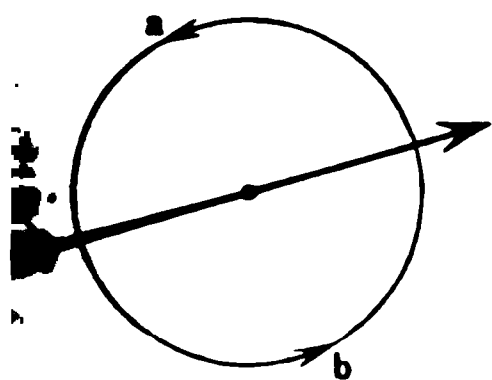
Dieses barometri-
 Minimum bildet das C-
 trum eines Wirbelstur-
 welcher nach den im
 rigen Paragraphen bes-
 chenen Gesetzen zu
 denn wir finden östl-
 und nordöstliche Wind
 Schottland, nordwestl-

Valentia und Plymouth, westliche in L'Orient, Rochefort, Bordeaux, Iboas, südwestliche und süd-südwestliche in Bourbon-Vendee, Cherbourg, Paris, Havre, Mézières, Boulogne, Brüssel u. s. w.

Ein Blick auf die Karte zeigt, dass bei einem derartigen Sturme die Windrichtung im Allgemeinen nicht weit vom Parallelismus mit den beobachteten isobarischen Curven abweicht.

Eine andere höchst wichtige Bemerkung, welche sich bei Betrachtung der Karte Fig. 315 aufdrängt, ist die, dass die Winde auf der Nordost-, Nord- und Nordwestseite des Centrums von mässiger Stärke sind, während sie auf der Südwest-, Süd- und Südostseite mit grosser Heftigkeit wehen. Die Südhälfte des Wirbelsturmes ist also bei weitem stärker als die Nordhälfte. Es ist dies leicht zu erklären. In Fig. 316 stelle der kleine Kreis einen Wirbelsturm dar, welcher, wie dies ja

Fig. 316.



für die europäischen Stürme der Fall ist, in einer dem Zeiger einer Uhr entgegengesetzten Richtung rotirt, und dessen Centrum in der Richtung des gefiederten Pfeiles fortschreitet, so ist klar, dass bei *a* die Rotationsrichtung des Wirbels der Richtung entgegengesetzt ist, nach welcher er fortschreitet, dass also hier der Wind nur mit der Differenz der beiden

Geschwindigkeiten auftreten kann, während er bei *b* mit der Summe der beiden Geschwindigkeiten wüthet.

Leider hat das Bulletin international durch die Belagerung von Paris eine Unterbrechung erfahren. Möge die Reorganisation desselben bald erfolgen und möchten bei dieser Gelegenheit die Lücken des Bulletin ausgefüllt werden, welche bis dahin noch bestanden.

Ein eigenes System telegraphischer Witterungsnachrichten besteht in Oesterreich sowohl wie auch in Russland. Bereits im Jahre 1858 haben 32 Stationen Nordamerikas ihre meteorologischen Beobachtungen telegraphischem Wege nach Washington, wo in dem Gebäude der Smithsonian Institution täglich eine grosse Karte ausgestellt wurde, welche die gleichzeitig über einem grossen Theile der Vereinigten Staaten herrschende Witterung darstellte.

Welche Vortheile dem Studium der Witterungskunde aus diesen telegraphischen Witterungsberichten erwachsen werden, ist zu einleuchtend, als dass man deshalb noch viele Worte zu verlieren nöthig hätte.

Sturmwarnungen. Die telegraphischen Witterungsberichte fördern aber nicht allein die wissenschaftliche Entwicklung der Meteorologie, sie sind auch für die Schifffahrt von dem grössten unmittelbaren Nutzen. Der elektrische Telegraph kann die Nachricht von dem Aufkommen eines Sturmes an irgend einem Küstenpunkte verbreiten, seinen Verlauf verfolgen und rechtzeitig die Häfen warnen, welche derselbe möglicherweise heimsuchen kann. Ja! aus der Gestaltung der nach tele-

graphischen Witterungsberichten construirten Isobaren lässt sich das Eintreffen von Stürmen voraussehen, ehe man dieselben an irgend einer Station wirklich beobachtet hat.

Bei tiefem Barometerstande ist allerdings eher stürmische Witterung zu erwarten, als bei hohem, doch kann man einen tiefen Barometerstand allein keineswegs als ein sicheres Vorzeichen von Stürmen betrachten; viel bedenklicher als ein tiefer Barometerstand überhaupt ist ein rasches Sinken des Barometers; das sicherste Vorzeichen herannahender Stürme besteht aber darin, dass die Isobaren dicht gedrängt um ein barometrisches Minimum herum liegen, wie dies am 3. December 1863 der Fall war (Fig. 314).

Aus dem Verlauf der Isobaren lässt sich aber nicht allein das Eintreten eines Sturmes überhaupt, sondern auch die wahrscheintliche Windrichtung angeben, denn ein Beobachter, welcher sich so anstellt, dass er die Stelle des barometrischen Minimums zur Linken hat, wird ungefähr nach der Weltgegend hinschauen, nach welcher der zu erwartende Wind hinweht.

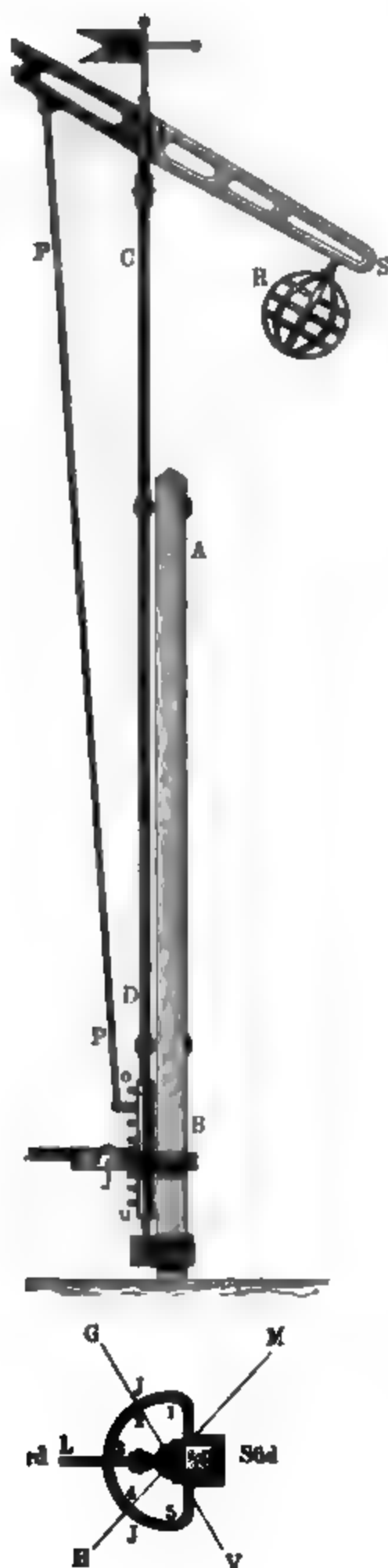
Die erste Regierungsverordnung in Betreff einer regelmässigen Veröffentlichung telegraphischer Witterungsberichte zum Besten der Seefahrt wurde auf wiederholtes Andringen Buys-Ballot's von der holländischen Regierung am 21. Mai 1860 erlassen. Im Februar 1861 geschah dasselbe für England, im August 1863 für Frankreich u. s. w.

Die englischen Sturmsignale, welche an den verschiedenen Orten aufgestellt werden, wenn denselben die telegraphische Nachricht von atmosphärischen Störungen zukommt, welche das Hereinbrechen eines Sturmes vermuthen lassen, besteht bei Tag aus einem Cylinder von Holz, welcher mit einem dicken dicken geflecht, welcher 3 Fuss Durchmesser hat und 3 Fuss hoch ist, bei Nacht aber aus vier Laternen, welche in solcher gegenseitigen Stellung angebracht sind, dass sie ein Quadrat von 4' Seite bilden. Die gleiche oder ähnliche Sturmsignale sind auch in anderen Ländern eingeführt worden.

In den Niederlanden hat Buys-Ballot Sturmsignale eingeführt, welche er Aëroklinoskope nennt und welche den Vorzug haben, dass sie jederzeit den Zustand der Atmosphäre anzudeuten. An dem quadratischen Pfahle *AB* Fig. 317 ist eine starke eiserne Röhre *CD* angebracht, welche mittelst des Hebels *L* um ihre verticale Axe gedreht und in einer bestimmten Stellung festgestellt werden kann, indem man den Hebel *L* in eine der Einkerbungen des gleichfalls an *AB* befestigten eisernen Rahmens *JJ* einsetzt. Die eiserne Röhre *CD* trägt an ihrem oberem Ende einen beweglichen Arm *NS*, dessen Neigung gegen die Horizontale mittelst der Stange *PP* regulirt werden kann, indem man ihn unter verschiedenen Stellungen an den einen oder den anderen der zwischen *o* und *u* befindlichen Stifte ansteckt.

Der Zweck dieser Vorrichtung ist die Differenz der Barometer-

Fig. 317.



zwischen zweien der vier niederländischen Stationen Gröningen, Helder, Vliessingen und Mastrich anzudeuten, deren telegraphisch nach Utrecht gemeldete Beobachtungen von hier aus den verschiedenen niederländischen Häfen mitgetheilt werden. Nach diesen Mittheilungen wird dann die Einstellung des Aëroklinoskops besorgt. Der Hebel *L* wird in die Einkerbung bei 1 eingesetzt, wenn die Differenz des Barometerstandes zwischen Gröningen und Helder oder zwischen Mastrich und Vliessingen bezeichnet werden soll; er wird bei 2 eingesetzt, wenn es sich um Gröningen-Vliessingen, bei 3, wenn es sich um Gröningen-Mastrich oder Helder-Vliessingen, bei 4 endlich, wenn es sich um Helder-Mastrich handelt.

Der besseren Unterscheidung wegen ist die nördliche Hälfte des Armes *NS* roth, die südliche aber weiss angestrichen, ausserdem aber ist an dem südlichen Arme eine aus Blechstreifen gebildete Kugel *R* befestigt.

Zwischen *o* und *u* sind im Ganzen 9 eiserne Stifte angebracht. Wird das untere Ende der Stange *PP* an den mittleren Stift angesteckt, so steht der Arm *NS* wagerecht, was anzeigt, dass der Barometerstand auf den nördlicheren Stationen dem auf den südlicheren gleich ist. Steht das Barometer auf der nördlichen Station um 1, 2, 3, 4 Millimeter tiefer als auf der südlicheren, so wird das untere Ende der Stange *PP* an dem 1., 2., 3., 4. Stift unter dem mittleren angesteckt, umgekehrt wird das untere Ende von *PP* an einen der 4 oberen Stifte ange-

steckt, wenn das Barometer auf der südlichen Station tiefer steht als auf der nördlichen. Die in Fig. 317 (a. v. S.) abgebildete Stellung des Apparats würde also anzeigen, dass das Barometer zu Gröningen um 3^{mm} höher steht als in Mastrich, oder in Helder um 3^{mm} höher als zu Vliessingen.

Man hat zunächst keinen Sturm zu befürchten, wenn das Nordende des Armes *NS* höher steht als das Südende oder wenn die Lage dieses Armes überhaupt nicht viel von der Horizontalen abweicht; dagegen ist das Wetter um so bedenklicher, je höher das Südende des Armes *N* in die Höhe steht.

Da der Herd der Stürme, welche über Europa hereinbrechen, im grössten Theil auf dem atlantischen Ocean zu suchen ist, so wäre es von der grössten Wichtigkeit, in telegraphischem Verkehr mit einer von den europäischen Küsten nach Westen gelegenen meteorologischen Station zu stehen, und als solche hat Buys-Ballot die azorischen Inseln vorgeschlagen. Es wäre von internationalem Interesse, nicht nur von dort Warnungen zu erhalten, sondern auch solche dorthin zu dirigiren, welche vorbeisegelnden Schiffen bekannt gemacht werden könnten. Die Azoren könnten dann weiter durch ein submarines Kabel mit Nordamerika (Newfoundland) verbunden werden.

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man 224
in einem heissen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie
stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen; es ver-
dunstet, das heisst: es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in
der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige
Gas für unsere Blicke nicht wahrnehmbar, das Wasser scheint, indem es
verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein.

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn
es in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau
oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfes
in der Luft überzeugen will, muss man ihn auf irgend eine Weise ver-
fassen.

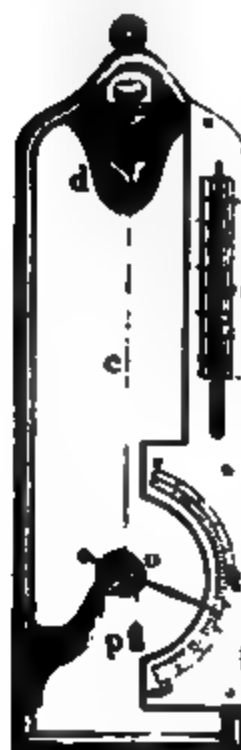
Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten
Raum Luft enthaltenen Wasserdampfes, wenn man die Luft durch ein
mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regel-
mässiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewir-
ken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen
ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäss,
wie man bei *D* Fig. 322 S. 638 eines sieht. Aus der einen Oeffnung
fliesst beständig Wasser ab, während die andere Oeffnung mit dem Ab-
sorptionsrohre in Verbindung steht, so dass hier ein dem ausfliessenden
Wasser gleiches Volum getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasser-
dampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten
ist, ergibt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

Die Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspi-
rator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmässige
Substanzen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch
nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern

den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches man hat deshalb kleinere, leichter transportable Apparate, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, dass viele organische Körper die Eigenschaft Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnissmässig zu dehnen. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche skopische Körper, und man benutzte sie deshalb zur Construction Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Saussure gegebene Haarhygrometer, welches Fig. 319 abgebildet ist.

Das Haar *c* ist mit seinem oberen Ende im Zängelchen *a* befestigt, das andere Ende desselben aber ist um eine kleine Rolle geschlungen, während in der zweiten Rinne um die Rolle ein Seidenfaden gezogen ist, der ein kleines Gewicht *p* trägt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird.



Auf der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher über einen Gradbogen hin und her geht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haars gedreht wird.

Die Schraube am oberen Theile des Apparats dient zur Regulirung der Spannung des Haars.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen oder nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduierung des Instruments wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum mit Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. In dieser Lage wird der Punkt der grössten Trockenheit festgestellt; er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum mit destillirtem Wasser befeuchtet ist, während auch auf dem Boden der Glocke destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er stehen bleibt, ist der Punkt der grössten Feuchtigkeit; er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die Feuchtigkeitsgrad an, es zeigt, ob sich die Luft der Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Feuchtigkeitsgraden keinen directen Schluss auf die Menge des Wassers in der Atmosphäre machen. Wie gross die jedem Hygrometer

ende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf diesem Wege ermittelt werden.

Gay-Lussac verfuhr folgendermaassen: Er bestimmte zunächst das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes, welcher sich bei einer Temperatur von 10° über verschiedene Salzlösungen bilden kann. Als- brachte er sein Instrument bei derselben Temperatur der Reihe mit diesen Flüssigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die bei welchen sich das Instrument einstellte. Die folgende Tabelle die Resultate dieser Versuche.

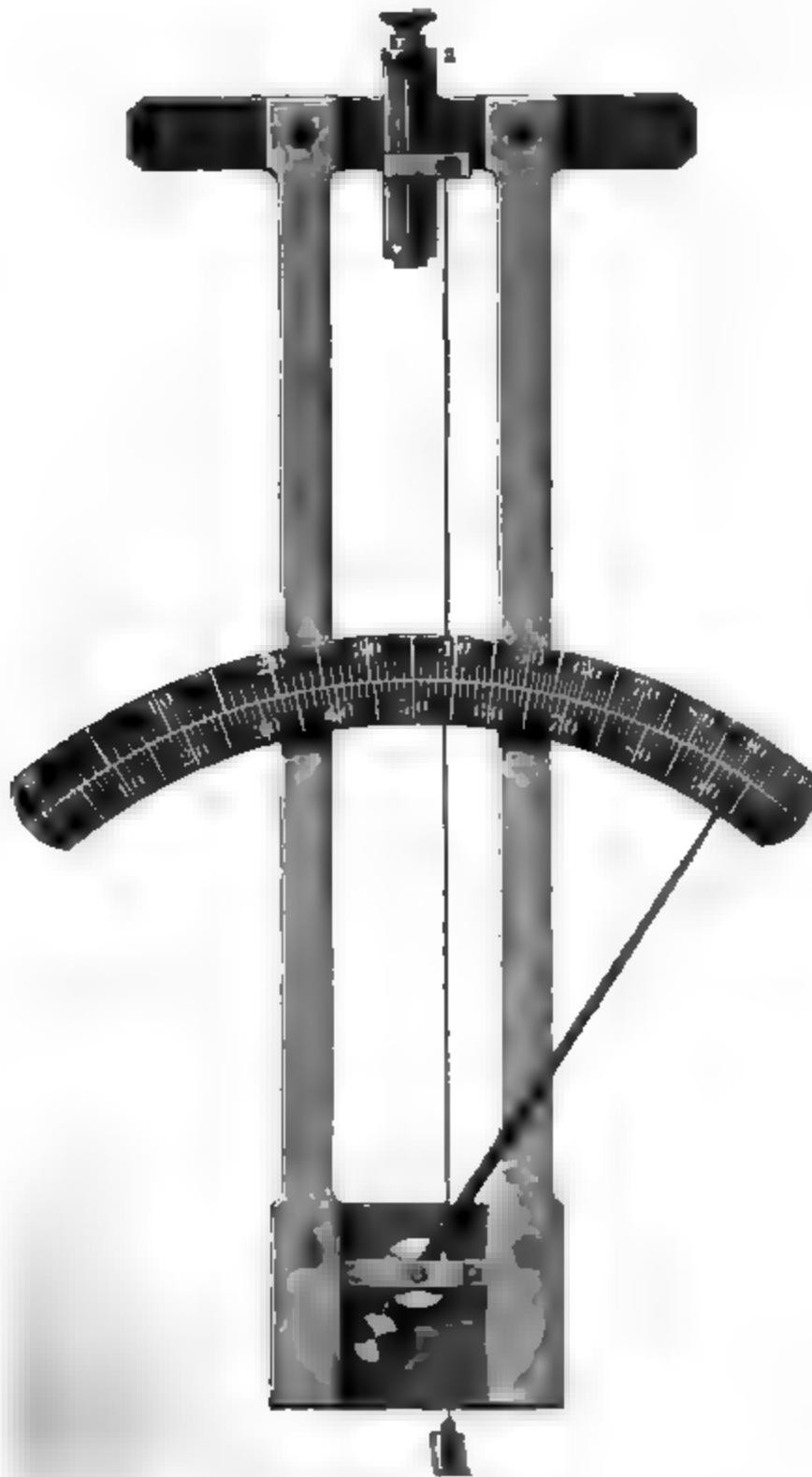
Art der Flüssigkeit.	Specifisches Gewicht bei 10° C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Wasserdampfes bei 10° mit 100 bezeichnet.	Grade des Haarhygrometers, bei welchen sich der Zeiger für die verschiedenen Flüssigkeiten einstellte.
Wasser	1,000	100,0	100,0
von salzsaurem Natrium	1,096	90,6	97,7
von salzsaurem Ammonium	1,163	82,3	92,2
von salzsaurem Kalium	1,205	75,9	87,4
von salzsaurem Kalk	1,275	66,0	82,0
von salzsaurem Magnesium	1,343	50,5	71,0
von salzsaurem Zink	1,397	37,6	61,3
von salzsaurem Eisen	1,493	18,1	33,1
von salzsaurem Kupfer	1,541	12,2	25,3
von salzsaurem Nickel	1,702	2,4	6,1
von salzsaurem Zinn	1,848	0	0

Gay-Lussac fand also z. B., dass bei 10° die Wasserdämpfe über einer Auflösung von Chlorcalcium, deren specifisches Gewicht 1,275 ist, 66 Proc. der Spannkraft der Wasserdämpfe besitzen, welche bei derselben Temperatur über reinem Wasser sich bilden; wenn aber das Hygrometer unter die Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieser Lösung befeuchtet sind, so stellt es sich auf 82 Grad; man kann daraus den Schluss ziehen, dass der Theilstrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Procent des zur Sättigung nöthigen beträgt. Aus diesen Beobachtungen hat Gay-Lussac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entsprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben umstehend die Tabelle nur von 10 zu 10 Grad.

Hygrometergrade.	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft.	Hygrometergrade.	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft.
0	0	60	38,2
10	4,57	70	47,1
20	9,45	80	61,2
30	14,78	90	79,0
40	20,78	100	100,0
50	27,79		

Wenn also das Hygrometer auf 60° steht, so enthält die Luft 38,2 Procent des Wasserdampfes, welchen sie enthalten müsste, um gesättigt zu sein.

Fig. 320.



Diese Tabelle zeigt doch nur für Temperaturen ganz verschiedene, welche nicht 10° verschiedene sind.

Regnault hat ebenfalls Untersuchungen über Haarhygrometer gestellt. Er fand es massiger, die mit Aether zu besetzen statt sie in eine Lösung zu kochen, wie es Saussure gethan hatte.

Er fand, dass das Hygrometer, mit dieser Art von Haar besetzt, welche auf gleiche Weise getrocknet wurden, so streng übereinstimmend gehen, dass aber für die Beobachtungen gleichbar gehalten werden können, dagegen Hygrometer mit Haaren von

der Natur und verschiedener Zubereitung sehr grosse Unterschiede in den Angaben zeigen können, selbst wenn sie an den Endpunkten übereinstimmen.

Daraus geht klar hervor, dass man nicht eine für alle Haarhygrometrische Tabelle berechnen könne, sondern dass man eigentlich für jedes Instrument der Art Versuche in obiger Weise anstellen und aus denselben eine Tabelle berechnen müsse.

Fig. 320 stellt ein Haarhygrometer dar, wie dasselbe jetzt von Hann und Pfister in Bern in ausgezeichneter Weise verfertigt wird.

Das Haar ist mit möglichster Sorgfalt von Fett befreit.

Das Instrument ist mit 2 Scalen versehen, deren obere die relative Feuchtigkeit direct in Procenten angiebt, während bei der unteren der Zwischenraum zwischen dem Punkt der absoluten Trockenheit und der grössten Feuchtigkeit in 100 gleiche Theile getheilt ist.

Das registrirende Hygrometer der Berner Sternwarte ist ein Hann-Pfister'sches Haarhygrometer, dessen Scala allmählich mit Hülfe des Psychrometers controlirt wird. Die Markirung des Hygrometerstandes geschieht von 10 zu 10 Minuten auf galvanischem Wege, und zwar auf dieselbe Weise, wie die Markirung des Thermometers, welche auf S. 437 besprochen wurde.

Daniel's Hygrometer ist Fig. 321 dargestellt; es besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*,

Fig. 321.



ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Lappchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung desselben erkaltet, in ihrem Inneren werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaassen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme ge-

nommen und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Die Entstehung dieses Thaues lässt sich leicht erklären. Die Physik lehrt, dass im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann,

dass aber das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft Wasserdampfes 17,4 Millimeter (Lehrb. d. Physik. 7. Aufl. Bd. II.) und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,000017; einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,31 Gramm Wasser in Form von Dampf halten sein.

Wir wissen aber ferner, dass in einem luftgefüllten Raume ebensoviel Wasserdampf enthalten sein kann als in einem gleich luftleeren Raume, und dass sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summen. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Cubikmeter ebenfalls 17,31 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Man sagt, die Luft sei mit Wasserdampf gesättigt, wenn ihr verbreiteter Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kalten Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu kalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. nicht immer in derselben gerade soviel Wasserdampf enthalten, als bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, ein Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° C. nur 10 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,31 Gramm Wasserdampf halten. Aus der angeführten Tabelle (Lehrb. d. Physik. Bd. II.) ersieht man aber, dass die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes bei 16° gleich 0,00001363 ist: für eine Temperatur von 16° wird die Luft gesättigt. Man müsste also die Luft bis unter 16° abkühlen, wenn eine Verdichtung von Wasserdampf stattfinden sollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heisst der Thaupunkt.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am Daniel'schen Thermometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt diese Kugel an sich zu beschlagen. Die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Wassergehalt der mit Dampf gesättigten Luft für den Thaupunkt von -20° bis $+40^{\circ}$ Celsius an.

	Entsprechende Spannkraft des Wasser- dampfes.	Gewicht des Wasser- dampfes in 1 Cubikmeter Luft.	Tempera- tur des Thau- punktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasser- dampfes.	Gewicht des Wasser- dampfes in 1 Cubikmeter Luft.
	mm	gr		mm	gr
	1,3	1,5	19 ^o	16,3	16,2
	1,9	2,1	20	17,4	17,3
	2,6	2,9	21	18,3	18,1
	3,7	4,0	22	19,4	19,1
	5,0	5,4	23	20,6	20,2
	5,4	5,7	24	21,8	21,3
	5,7	6,1	25	23,1	22,5
	6,1	6,5	26	24,4	23,8
	6,5	6,9	27	25,9	25,1
	6,9	7,3	28	27,4	26,4
	7,4	7,7	29	29,0	27,9
	7,9	8,2	30	30,6	29,4
	8,4	8,7	31	32,4	31,0
	8,9	9,2	32	34,3	32,6
	9,5	9,7	33	36,2	34,3
	10,1	10,3	34	38,3	36,2
	10,7	10,9	35	40,4	38,1
	11,4	11,6	36	42,7	40,2
	12,1	12,2	37	45,0	42,2
	12,8	13,0	38	47,6	44,4
	13,6	13,7	39	50,1	46,7
	14,5	14,5	40	53,0	49,2
	15,4	15,3			

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12° C. anzeigt, so wir aus dieser Tabelle, dass jedes Cubikmeter Luft 10,9 Gramm Dampf enthält; wäre der Thaupunkt 17° C., so enthielte jedes Cubikmeter 14,5 Gramm Wasserdampf u. s. w.

zur Bequemlichkeit für die Berechner der auf meteorologischen Stationen gemachten Beobachtungen hat man solche Tabellen berechnet, die die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für alle Tempera-

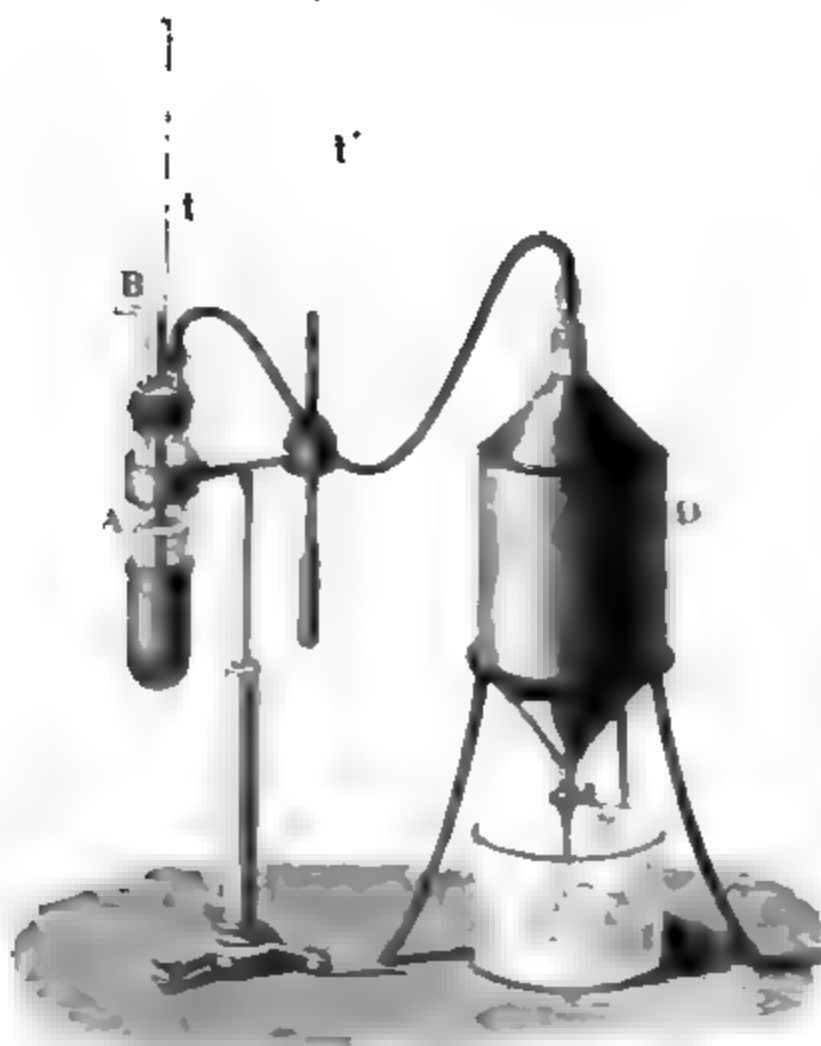
turen von -24 bis $+35^{\circ}$ C. jeweils um $0,1$ Grad fortzuschreiten geben.

Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'schen Hygrom lassen sich mit Recht folgende Einwendungen machen: Der Aether der Kugel a ist an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen. Handhabung des Apparats erfordert eine längere Anwesenheit des Beobachters in der Nähe desselben, wodurch sowohl die Temperatur als der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel b verdampft, äussert ebenfalls einen Einfluss auf den hygrometrischen Zustand der Luft, welcher noch dadurch vermehrt wird, dass der käufliche Aether nie ganz wasserfrei ist.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerksam gemacht, mit dem Daniel'schen Hygrometer genaue Resultate zu erhalten. Er construirte ein anderes, auf demselben Principe beruhendes Instrument, welches jedoch nicht so beachtet worden zu sein scheint. Es verdient.

Später hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Vollkommnung des eben erwähnten Döbereiner'schen angesehen werden kann. Am unteren Ende der Glasröhre A , Fig. 322, ist ein fingerhuts förmiges Gefäss von dünnem polirtem Silberblech befestigt, welches un-

Fig. 322.



Durchmesser hat und 45^{mm} hoch ist. Oben ist die Glasröhre *A* in einem Kork verschlossen, welcher drei Löcher hat. Durch das eine oben geht die Röhre *B* hindurch, welche fast bis auf den Boden des Gefäßes reicht; durch die zweite Oeffnung geht die Röhre eines Thermometers, dessen Gefäß sich ungefähr in der Mitte des Silbergefäßes befindet. Ein kurzes Glasröhrchen, welches nur eben bis unter den Boden reicht, steckt in der dritten Oeffnung. Von diesem Röhrchen führt ein Gummischlauch zu dem mit Wasser gefüllten Aspirator *D*.

Das silberne Gefäß und die Glasröhre sind ungefähr so weit mit Wasser gefüllt, wie die Figur zeigt. Wird nun der Hahn des Aspirators geöffnet, so fließt hier das Wasser aus, in gleichem Maasse aber muss durch das Rohr *B* einströmen, welche durch den Aether in *A* in Bläschen aufsteigt, und dadurch eine rasche Verdunstung des Aethers bewirkt, in Folge deren das Silbergefäß von aussen beschlägt.

Die Temperatur des Thaupunktes wird am Thermometer *t*, die der umgebenden Luft am Thermometer *t'* abgelesen.

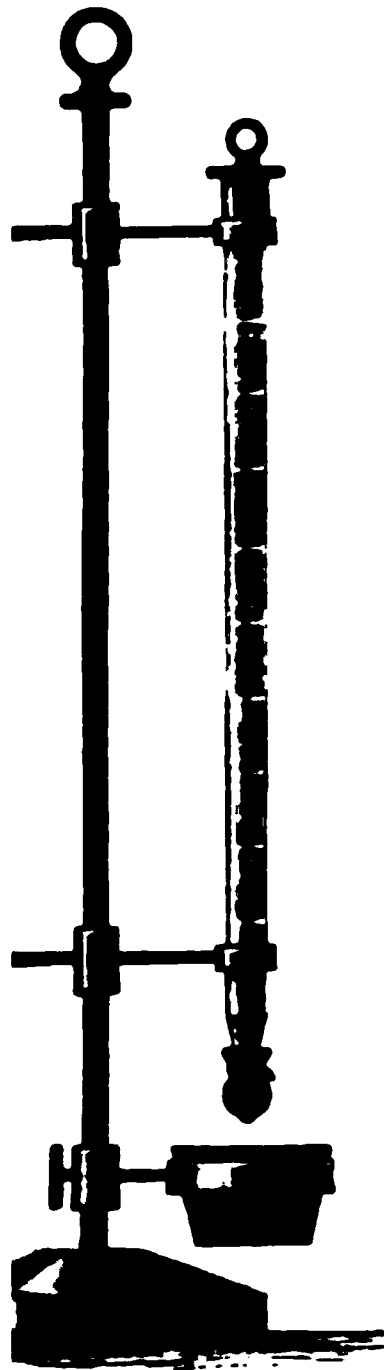
Der Beobachter steht am Aspirator *D* und beobachtet das Silbergefäß und die Thermometer durch ein Fernrohr.

Wenn das Silbergefäß die Temperatur des Thaupunktes erreicht hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses hin, um

Fig. 323.

den Beschlag verschwinden zu machen, während eine Beschleunigung des Ausflusses ihn vermehrt.

Das Döbereiner'sche Instrument unterscheidet sich von dem Regnault'schen im Wesentlichen nur dadurch, dass bei ersterem die Luft mittelst einer Druckpumpe durch den Aether des Silbergefäßes hindurch getrieben wird.



August's Psychrometer ist Fig. 323 226

dargestellt; es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen (in unserer Figur die des Thermometers links) ist vollkommen frei, so dass dieses Thermometer die Temperatur der Luft anzeigt. Die Kugel des zweiten Thermometers ist mit einem Leinwandläppchen umwickelt, welches mit Wasser befeuchtet sein muss. Die Befechtung geschieht entweder, wie dies z. B. auf den badischen meteorologischen Stationen der Fall ist, dadurch, dass man $\frac{1}{4}$ Stunde vor der Beobachtung ein Gefäß voll Wasser von unten her über die Kugel schiebt und dann nach Entfernung des Gefäßes den noch an der Kugel hängenden Tropfen wegnimmt, oder es hängt das die Kugel umgebende Läppchen bis in ein unter-

gestelltes Glasgefäß hinab, wie dies Fig. 324 erläutert, so dass die Kugel, welche die Kugel umgiebt, durch Haarröhrchenwirkung

Fig. 325.



Fig. 324.



feucht erhält

Fig. 325 zeigt die Form des meters, welches ohne weitere Erklärung verstanden werden kann.

Das Wasser in der Kugelhülle verdunstet, um so rascher die Luft zur Sättigung entfernt ist. Die

Verdunstung des Wassers ist aber von einer Abkühlung begleitet, in Folge derer das Thermometer tiefer steht. Wenn die Luft vollkommene Feuchtigkeit gesättigt ist, wie dies bei dem Nebel der Fall ist, so wird das Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch. Wenn die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt ist, so wird das unwickelte Thermometer

tiefer stehen, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schließen.

Behufs der Psychrometerbeobachtungen ist auf den schwedischen, badischen und russischen Stationen in demselben Gehäuse, worin zur Beobachtung der Lufttemperatur dienende Thermometer stehen, noch ein zweites mit unwickelter Kugel angebracht, wie man in Fig. 251, Seite 429, sieht.

Wenn ein hinreichend starker Luftzug stattfindet, so wird die an der nassen Thermometerkugel vorbeistreichende Luft mit Wasserdampf gesättigt, sie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das nasse Thermometer zeigt die Temperatur an, bei welcher die Luft an dieser Kugel erkaltet und für welche sie sich mit Wasserdampf sättigt. Nehmen wir an, das nasse Thermometer zeigt 16° an, so sehen wir daraus, dass die Luft, welche an der unwickelten Kugel vorbeistreicht, auf 16° erkaltet wird, und dass sie dieselbe für die Temperatur gesättigt verlässt. Wäre die ganze Luftmasse für die Temperatur von 16° mit Wasserdampf gesättigt, so würde jedes Cubikfuß 18,7 Gramm Wasserdampf enthalten; so viel Wasserdampf enthält aber in der That nicht, denn sie nimmt ja an der nassen Kugel

6 erkaltend, noch Wasserdampf auf; der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre ist also von der Art, dass jedes Cubikmeter Luft weniger als 13,7 Gramm Wasserdampf enthält.

Die Menge des Wasserdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem sie an der nassen Kugel vorbeistreicht, ist der ihr entzogenen Wärmemenge, also auch der Temperaturdifferenz d des trockenen und des feuchten Thermometers proportional. Wir können also die Quantität des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter der nach und nach an der nassen Kugel vorbeistreichenden Luft aufnimmt, mit cd bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter Luft bei der Temperatur des nassen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Wasserdampfes also, welchen die Luft wirklich enthält, welche am nassen Thermometer vorbeigestrichen ist, so besteht diese Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität nämlich, welche sie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität, welche sie schon enthielt; es ist also:

$$M = m + cd$$

$$\mathbf{m} = \mathbf{M} - cd \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

In dieser Formel bezeichnet, wie erwähnt, m den Wassergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Wassergehalt der Luft, wenn sie für die Temperatur des nassen Thermometers wäre, und c einen constanten Factor, welcher durch Versuche bestimmt werden muss.

Durch vergleichende Versuche mit dem Psychrometer und dem Dawschen Hygrometer ergab sich:

$$c = 0,65.$$

Ist im Winter das Wasser an der überzogenen Thermometerkugel gefroren, so ist dieser Zustand zu belassen. Bei der Berechnung von α aber alsdann in Gleichung 1) für c statt des Factors 0,65 der Factor 0,56 zu setzen.

Um nicht für jede Beobachtung erst den Wassergehalt der Luft kennen zu müssen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Wassergehalt der Luft gleich auflesen kann.

Temperatur der Luft in Graden nach Celsius.	Differenz des trocknen und befeuchteten Thermome											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
— 20	1.5	0.8	0.1									
— 19	1.6	0.9	0.2									
— 18	1.8	1.0	0.3									
— 17	1.9	1.1	0.4									
— 16	2.0	1.2	0.5									
— 15	2.1	1.4	0.6									
— 14	2.3	1.5	0.8									
— 13	2.4	1.6	0.9	0.1								
— 12	2.6	1.8	1.0	0.3								
— 11	2.7	2.0	1.2	0.4								
— 10	2.9	2.1	1.3	0.6								
— 9	3.1	2.3	1.5	0.7								
— 8	3.3	2.5	1.7	0.9	0.1							
— 7	3.5	2.7	1.9	1.1	0.3							
— 6	3.7	2.9	2.1	1.3	0.5							
— 5	4.0	3.1	2.3	1.5	0.7							
— 4	4.2	3.4	2.5	1.7	0.9	0.1						
— 3	4.5	3.6	2.8	1.9	1.1	0.3						
— 2	4.8	3.9	3.0	2.2	1.4	0.5						
— 1	5.1	4.2	3.3	2.4	1.6	0.8						
0	5.4	4.5	3.6	2.7	1.9	1.0	0.2					
+ 1	5.7	4.7	3.8	2.9	2.1	1.2	0.4					
+ 2	6.1	5.1	4.1	3.2	2.3	1.4	0.5					
+ 3	6.5	5.4	4.4	3.4	2.5	1.6	0.7					
+ 4	6.9	5.8	4.8	3.7	2.7	1.8	1.0					
+ 5	7.3	6.2	5.1	4.1	3.1	2.1	1.2	0.3				
+ 6	7.7	6.6	5.5	4.5	3.4	2.4	1.4	0.5				
+ 7	8.2	7.0	5.9	4.9	3.8	2.8	1.8	0.8				
+ 8	8.7	7.5	6.4	5.3	4.2	3.2	2.1	1.1	0.2			
+ 9	9.2	8.0	6.9	5.7	4.6	3.6	2.5	1.5	0.5			
+ 10	9.7	8.5	7.3	6.2	5.1	4.0	2.9	1.9	0.9			
+ 11	10.3	9.1	7.9	6.7	5.6	4.4	3.3	2.3	1.2	0.2		
+ 12	10.9	9.7	8.4	7.2	6.0	4.9	3.8	2.7	1.7	0.6		
+ 13	11.6	10.3	9.0	7.8	6.6	5.4	4.3	3.1	2.1	1.0		
+ 14	12.2	10.9	9.6	8.3	7.1	5.9	4.8	3.6	2.5	1.4	0.4	
+ 15	13.0	11.6	10.3	9.0	7.7	6.5	5.3	4.1	3.0	1.9	0.8	
+ 16	13.7	12.3	10.9	9.6	8.3	7.0	5.8	4.6	3.5	2.4	1.3	0.1
+ 17	14.5	13.1	11.6	10.3	9.0	7.7	6.4	5.2	4.0	2.9	1.7	0.5
+ 18	15.3	13.8	12.4	11.0	9.6	8.3	7.0	5.8	4.6	3.4	2.2	1.1
+ 19	16.2	14.7	13.2	11.7	10.3	9.0	7.7	6.4	5.1	3.9	2.5	1.4
+ 20	17.1	15.5	14.0	12.5	11.1	9.7	8.3	7.0	5.8	4.5	3.3	2.1
+ 21	18.1	16.5	14.9	13.4	11.9	10.5	9.1	7.7	6.4	5.1	3.9	2.5
+ 22	19.1	17.4	15.8	14.2	12.7	11.2	9.8	8.4	7.1	5.8	4.5	3.1
+ 23	20.2	18.5	16.8	15.2	13.6	12.1	10.6	9.2	7.8	6.4	5.2	3.8
+ 24	21.3	19.5	17.8	16.1	14.5	12.9	11.4	10.0	8.5	7.2	5.8	4.4
+ 25	22.5	20.6	18.9	17.1	15.5	13.8	12.3	10.8	9.3	7.9	6.5	5.1
+ 26	23.8	21.8	20.0	18.2	16.5	14.8	13.2	11.6	10.1	8.7	7.3	5.8
+ 27	25.1	23.1	21.2	19.3	17.5	15.8	14.2	12.6	11.0	9.5	8.1	6.5
+ 28	26.4	24.4	22.4	20.5	18.7	16.9	15.2	13.5	11.9	10.4	8.9	7.2
+ 29	27.9	25.8	23.7	21.7	19.8	18.0	16.3	14.6	12.9	11.3	9.7	8.0
+ 30	29.4	27.2	25.1	23.0	21.1	19.2	17.4	15.6	13.9	12.3	10.7	9.0
+ 31	31.0	28.7	26.5	24.4	22.4	20.4	18.5	16.7	15.0	13.3	11.6	9.9
+ 32	32.6	30.3	28.0	25.8	23.8	21.7	19.8	17.9	16.1	14.3	12.7	11.0
+ 33	34.4	31.9	29.6	27.3	25.2	23.1	21.1	19.1	17.3	15.4	13.7	12.0
+ 34	36.2	33.7	31.2	28.9	26.7	24.5	22.4	20.4	18.5	16.6	14.8	13.1
+ 35	38.1	35.5	33.0	30.6	28.2	26.0	23.8	21.8	19.8	17.8	16.0	14.3

Man findet in dieser Tabelle den Wassergehalt eines Cubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äusserste Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Verticalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überschrieben ist. So findet man z. B. für die Lufttemperatur von 20° , wenn das nasse Thermometer auf 16° steht, wenn also die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 4° ist, den Wassergehalt der Luft gleich 11,1, d. h. in diesem Luftvolumen enthält jedes Cubikmeter Luft 11,1 Gramm Wasserdampf.

Den Instructionen für die meteorologischen Stationen der Schweiz, Deutschlands und anderer Länder sind ähnliche psychrometrische Tafeln in viel grösserem Umfang beigegeben, in welchen die Temperaturen des trocknen Thermometers sowie die Temperaturdifferenzen oder die Temperaturen des feuchten Thermometers nicht von Grad zu Grad, sondern von zehntel zu zehntel Grad fortschreiten, welche also (weil auf diese Temperaturgränzen berechnet) eine mehr als 100mal grössere Genauigkeit haben, als die Tabelle auf Seite 642.

Kennt man den absoluten Wassergehalt der Luft, so erhält man die relative Feuchtigkeit derselben, wenn man den absoluten Wassergehalt durch das Maximum des Wasserdampfes dividirt, welches die Luft bei der Temperatur des trocknen Thermometers aufnehmen kann.

Die grösseren psychrometrischen Tafeln enthalten nicht allein die absoluten, sondern auch den relativen Wassergehalt der Luft, welcher den psychrometerablesungen entspricht.

Die aus den Psychrometer-Beobachtungen abgeleiteten Werthe des Wassergehaltes der Luft sind jedoch nur dann der Wahrheit entsprechend, wenn am Instrumente ein genügender Luftwechsel stattfindet, wenn das Instrument also nicht von einer stagnirenden Luftmasse umgeben ist.

Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft. Da 227
Je höher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet sein wird, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so lässt sich erwarten, dass der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages zu nehmen wird. Die Gesetze der täglichen Variationen des Wassergehaltes der Atmosphäre sind besonders durch lange Versuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Reichenow in Halle und auf den Alpen ermittelt worden.

Die folgende Tabelle giebt für Halle die mittlere Spannkraft für die verschiedenen Tagesstunden in den Monaten Januar, April, Juli und October in Millimetern an.

Stunden.	Januar.	April.	Juli.	Oct.
Mittag	4.29mm	6.15mm	11.62mm	8
1	4.32	6.06	11.42	8
2	4.34	6.08	11.32	8
3	4.33	6.09	11.22	8
4	4.28	6.09	11.18	8
5	4.25	6.09	11.23	8
6	4.24	6.12	11.36	
7	4.22	6.15	11.68	
8	4.20	6.13	11.76	
9	4.18	6.10	11.75	
10	4.15	6.05	11.67	
11	4.14	6.03	11.52	
Mitternacht	4.11	6.02	11.33	
1	4.09	5.99	11.15	
2	4.09	5.93	11.05	
3	4.08	5.86	11.07	
4	4.08	5.84	11.21	
5	4.07	5.87	11.44	
6	4.06	5.96	11.68	
7	4.06	6.08	11.96	
8	4.05	6.25	12.11	
9	4.07	6.34	12.06	
10	4.12	6.35	11.80	
11	4.21	6.28	11.72	
Mittel	4.17	6.08	11.52	

Nach dieser Tabelle sind die Variationen des Wassergehalts der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Figur 1, Telegraphisch, und zwar in der unteren Curve, dargestellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Wasserdampfes proportional aufgetragen, und zwar so, dass einer Spannkraftsdifferenz eine Höhendifferenz von 3 Millimetern entspricht. Man sieht, dass der Wassergehalt der Luft zwei Maxima hat, eines gegen 9 Uhr und ein zweites gegen 9 Uhr Morgens. Ferner zeigt der Verlauf der Luft zwei Minima, eines um 4 Uhr Nachmittags und eines beim Sonnenaufgang.

Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur steigt, vermehrt sich die Menge des Wasserdampfes in der Luft, jedoch dauert dies

Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlasster aufsteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so dass der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fort dauert; diese Zunahme dauert bis gegen 4 Uhr; von hier an nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil jetzt die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; doch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufganges.

Die obere Curve unserer Figur zeigt uns das Maximum der Feuchtigkeitskraft, welches der Wasserdampf bei der, jeder Tagesstunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die Curven für die Zeit des Sonnenaufganges sich einander sehr nähern, ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Bei steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniss zur Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich also mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte. Auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer grösser.

Wir sagen „die Luft ist trocken“, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunstung schnell trocken werden; dagegen sagen wir „die Luft ist feucht“, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederlage bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkt entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sei sehr trocken; bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle Seite 637), oder die Luft müsste auf 15° C. erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu sein. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperatur von 2° C. nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, die Luft für die herrschende Temperatur beinahe vollständig mit

Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

In diesem Sinne können wir also sagen, dass zur Zeit des aufganges die Luft am feuchtesten ist, obgleich der absolute Wassergehalt geringer ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen 3 Uhr mittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Wassergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendestunden der täglichen Variation des Barometers zusammen, so dass man offenbar sieht, wie diese durch die Variationen des Wassergehaltes der Luft bedingt sind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Wassergehalt der Luft ein anderes Gesetz, weil der aufsteigende Luftstrom die Wasserdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterste der beiden Curven, Fig. 2, Tab. 21, stellt nach den Beobachtungen von Kappeler die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes im Laufe eines Julitages auf dem Rigi erleidet. Man sieht aus dieser Curve, dass der absolute Wassergehalt der Luft in der Tiefe nur ein tägliches Maximum und nur ein tägliches Minimum hat. Auch in der Höhe nimmt der Wassergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, diese Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Höhe der Wassergehalt von 9 Uhr an schon wieder abnimmt, weil der aufsteigende Luftstrom, welcher die Abnahme des Wassergehaltes in der Tiefe verursacht, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von Nachmittag an, wenn die Stärke des aufsteigenden Luftstroms abnimmt, nimmt der Wassergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe aber fortwährend ab, weil bei stets abnehmender Temperatur Wasserdampf mehr in die Höhe gebracht wird, sondern umgekehrt Wasserdämpfe sich in die Tiefe senken. Die obere der beiden Curven, Fig. 2, Tab. 21, giebt an, wie gross im Juli auf dem Rigi zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt sein würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel mehr gesättigt, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte viel näher als in der Tiefe: die beiden Curven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit voneinander entfernt, während, wie man aus Fig. 1, Tab. 21, sieht, die beiden Curven für tiefer gelegene Orte einen sehr ungleichen Verlauf nehmen und für die Stunden vor und nach Mitternacht sehr weit voneinander abstehen.

Die Figuren 3 und 4 auf Tab. 21 stellen nach dem 3. Jahrbuch der schweizerischen meteorologischen Beobachtungen den mittleren Gang der relativen Feuchtigkeit zu Bern und bei Grindelwald-Hospiz (574 und 2008 Meter über dem Meeresspiegel) für die Monate Januar und Juli im Jahre 1868 dar. Diese Curven zeigen, dass im Winter und Sommers die relative Feuchtigkeit der Luft fast denselben Gang hat, und dass die relative Feuchtigkeit in der Höhe viel bedeutender ist als in der Tiefe.

bsolute Wassergehalt der Luft mit ihrer Temperatur um so mehr
mt, je höher man sich über den Meeresspiegel erhebt.

Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft. 228
lgende Tabelle giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die
nen Monate des Jahres zu Halle.

Monate.	Spannkraft des Wasser- dampfes.	Relative Feuchtigkeit.
Januar	4,509mm	85,0
Februar	4,749	79,9
März	5,107	76,4
April	6,247	71,4
Mai	7,836	69,1
Juni	10,843	69,7
Juli	11,626	66,5
August	10,701	61,0
September	9,560	72,8
October	7,863	78,9
November	5,644	85,3
December	5,599	86,2

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttempe-
im Januar ein Minimum; er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein
um erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zu Ende des

Die letzte Columne dieser Tabelle unter der Ueberschrift „Relative
tigkeit“ giebt an, wie viel Procente des bei der mittleren Tempe-
des Monats möglichen Maximums des Wassergehaltes im Durch-
t in der Luft enthalten sind. Im December ist also im Durchschnitt
ft am feuchtesten, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte am näch-
im August aber ist die Luft am trockensten, obgleich ihr absoluter
rgehalt in diesem Monate sehr gross ist, weil sie sehr weit von
Sättigungspunkte entfernt ist. Im August ist der Wassergehalt
ft im Durchschnitt nur 61 Procent von der Quantität Wasser-
welche in der Luft enthalten sein müsste, wenn sie bei der mitt-
Temperatur dieses Monats gesättigt sein sollte. In diesem Sinne
so November, December, Januar und Februar die feuchtesten, Mai,
uli und August die trockensten Monate des Jahres.

Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden. 229
ldung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen

abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegrenzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dampf bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, dass der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muss und dass sie im Inneren der grossen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Rose in verschiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweisen ebenfalls die ausserordentliche Trockenheit der Atmosphäre in diesen Gegenden. In der Steppe von Platowsky fanden sie, dass bei einer Temperatur von $23,7^{\circ}$ C. die Differenz der beiden Thermometer des Psychrometers $11,7^{\circ}$ betrug, während sie bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nur 5 bis 6° beträgt. Nehmen wir an, die Differenz der Thermometer hätte bei einer Temperatur von 24° C. nur 11° betragen, so würde nach der Tabelle auf Seite 641 jedes Cubikmeter Luft 4,5 Gramm Wasserdampf enthalten haben, eine Quantität, mit welcher die Luft erst bei -3° C. gesättigt ist; da aber die Temperaturdifferenz noch bedeutend grösser war, als wir eben annahmungsweise angenommen hatten, so war der Wassergehalt der Luft noch geringer, der Thaupunkt also noch unter -3° C., die Luft hätte also um mehr als 27° erkaltet werden können, ohne dass ein Niederschlag von Feuchtigkeit erfolgt wäre.

Ein anderes Beispiel ausserordentlicher Trockenheit beobachtete Abbadie in Abyssinien. Zu Abbay am blauen Nil zeigte das trockene Thermometer des Psychrometers $37,1^{\circ}$ C., das feuchte $19,9^{\circ}$ C.; die Differenz der beiden Thermometer, $17,2^{\circ}$, geht also über die Gränzen der Tabelle auf Seite 642 hinaus. Mit Hülfe der Formel auf Seite 641 ergibt sich aber, dass das Cubikmeter Luft nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, während es bei $37,1^{\circ}$ C. 42,5 Gramm Wasserdampf enthalten könnte. Der Thaupunkt lag bei $+2^{\circ}$ C.

Während eines Samums fand derselbe Beobachter am Ufer des rothen Meeres die Temperatur der Luft im Schatten $42,7^{\circ}$ C., während das feuchte Thermometer $20,6^{\circ}$ C. zeigte. Ein Cubikmeter Luft enthielt demnach nur noch 3,8 Gramm Wasserdampf, also nur $\frac{1}{15}$ des bei $42,7^{\circ}$ C. möglichen Wassergehaltes. (Poggend. Annal. Bd. LXVIII.)

Auf der schweizerischen Naturforscherversammlung, welche im Jahre 1853 zu Pruntrut gehalten wurde, hielt Desor einen Vortrag über das Klima der Vereinigten Staaten von Nordamerika und seinen Einfluss auf die Sitten und Gebräuche ihrer Bewohner, aus welchem sich die Bedeutung ergibt, welche der Wassergehalt der Atmosphäre auf die klimatischen Verhältnisse eines Landes ausübt.

Bei gleicher mittlerer Jahreswärme und nahezu gleichem jährlichen Ge der Temperatur zeigt doch das Klima eines Ortes in Nordamerika grosse Verschiedenheiten von dem der Westküste von Europa, welche deutschen Auswanderern sehr auffallend sind und sie zu manchen Änderungen ihrer Gewohnheiten nöthigen. — Die Wäsche trocknet hier; die Brotvorräthe, welche man in Europa mehrere Wochen lang bewahren kann, werden dort in wenigen Tagen ungeniessbar, weil Brot zu rasch austrocknet. — Die Ernten sind in Nordamerika weniger unsicher als in Europa. — In Nordamerika kann man ohne Nachtheil für die Gesundheit in ein eben erst vollendetes Haus einziehen, man braucht nicht nöthig, erst auf das Austrocknen der Wände zu warten; dagegen müssen die Schreiner mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem das Holz, welches man in Europa für hinlänglich ausgetrocknet halten würde, es für Möbel zu verwenden, zu Boston und New-York in kurzer Zeit verfault; auch müssen die Schreiner in Amerika viel stärkeren Leim verwenden als in Europa.

Alle diese Erscheinungen deuten darauf hin, dass die Luft an den Westküsten von Nordamerika im Durchschnitt weit trockener ist als an den Westküsten von Europa.

Da nun aber weder die Regenmenge noch die Anzahl der Regentage in Nordamerika geringer ist als in Europa, so kann der erwähnte Unterschied nur dadurch bedingt sein, dass dort bei schönem Wetter die Atmosphäre weniger mit Feuchtigkeit beladen ist als bei uns. Die Luft bleibt hier, wie in England und Westeuropa, immer ihrem Sättigungspunkte nahe. Sobald es aufgehört hat zu regnen und der Wechsel des Wetters ein anderes Wetter bringt, geht das Hygrometer augenblicklich herunter und der Taupunkt sinkt bedeutend unter die Temperatur der Luft.

Die Ursache dieser grösseren Trockenheit ist leicht zu erklären. In Nordamerika ist Südwest der herrschende Wind, wie in Europa; an den Westküsten von Europa kommt aber dieser Wind mit Feuchtigkeit beladen, weil er bei seiner Berührung mit dem atlantischen Ocean viel Wasser aufnehmen konnte, der Südwest ist bei uns also Regenwind. Anders an den Ostküsten von Nordamerika; dort kommen die Südwestwinde erst an, nachdem sie einen weiten Weg über Land und über ziemlich hohe Gebirge zurückgelegt haben, wo sie sich ihrer Feuchtigkeit berauben, weshalb sie nur selten Regen bringen.

Der Einfluss dieser klimatischen Verhältnisse auf die Bewohner von Nordamerika ist auffallend. Selten findet man dort, was man wohlgenährt nennt. Die Nordamerikaner sind meistens mager und zeichnen sich hauptsächlich durch einen langen Hals aus. Europäer, welche nach Amerika kommen, werden bald magerer, während umgekehrt die Nordamerikaner in Europa bald dicker werden.

Dem Europäer, welcher in New-York, Boston oder Baltimore landet, fällt die fieberhafte Regsamkeit auf, welche überall herrscht. Jedermann ist in Eile; die Leute auf der Strasse laufen mehr als sie gehen. Aller-

dings bemerkt man in den grossen Städten Englands etwas Aehnliches, aber die Thätigkeit des Engländers scheint mehr überlegt (raison) als die des Yankee mehr instinktmässig, mehr das Resultat natürlicher Ungeduld als der Nothwendigkeit. Der Amerikaner gibt sich kaum die Zeit zum Speisen, selbst wenn er nichts zu thun hat. In ihrer anscheinenden Kälte sind die Amerikaner weit reizbarer als Europäer und ihre Empfindlichkeit ist sprichwörtlich. —

Gewiss sind diese Eigenthümlichkeiten des Yankeecharakters zugewiesen durch die Trockenheit der Luft bedingt, und man würde durch aufmerksamere Beobachtung ähnliche Resultate auch in anderen Ländern finden, die durch grosse Trockenheit der Luft ausgezeichnet sind.

230 Der Thau. Wenn man an einem schwülen Sommertage aus einem kühlen Gewölbe eine Flasche kalten Wassers ins Freie bringt, so schlägt sie, d. h. sie wird in kurzer Zeit mit zarten Wassertröpfchen bedeckt, es setzt sich Thau auf derselben ab.

Der Grund dieser Erscheinung ist leicht anzugeben. Die mit der Flasche zunächst in Berührung tretenden Luftschichten werden erkaltet, da die kältere Luft aber nicht so viel Wasserdampf aufnehmen kann als die wärmere, so muss diese Erkaltung nothwendig die Ausscheidung eines Theiles des bisher in jenen Schichten enthaltenen Wasserdampfes zur Folge haben, die condensirten Wasserdämpfe setzen sich aber in Form von Thau auf dem Körper ab, von welchem die Erkaltung ausgeht.

Eine ganz analoge Erscheinung ist das Beschlagen der Fenster eines bewohnten warmen Zimmers, wenn dieselben von Aussen her abgekühlt werden.

Die starke Erkaltung, welche alle Körper der Erdoberfläche in kalten windstillen Nächten in Folge der nächtlichen Strahlung erleiden (s. §. 187), muss aber in gleicher Weise eine Ausscheidung von Wasserdämpfen in den untersten Luftschichten zur Folge haben, welche in Form von Thautropfen auf dem Erdboden, auf Steinen, Gras, Laub ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, dass manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so dass von dem Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie daher stärker bethaut als die Steine und den nackten Boden.

Bei der französischen Expedition nach Constantine im October 1841 litten mehr als 100 Mann an erfrorenen Füßen, Händen und Lippen, obgleich das Thermometer nie unter den Gefrierpunkt sank. Der Schnee aber, auf welchem man sich nächtlich lagerte, erkaltete viel tiefer.

Alles, was die nächtliche Strahlung hindert oder vermindert, hindert

er vermindert auch die Thaubildung. Wells legte auf ein Brett, welches in horizontaler Lage durch 4 Stützen 1 Meter hoch über dem Boden gehalten wurde, 10 Gran Wolle und befestigte eine gleiche Quantität Wolle auf der unteren Fläche des Brettes. Nach einer heiteren Nacht gab sich, dass das obere Wollbüschel 14 Gran, das untere nur 4 Gran Feuchtigkeit aufgenommen hatte.

Wenn man über einer Wiese in der Höhe von 2 bis 3 Fuss ein Zelt ausspannt, so wird der durch das Tuch gegen die nächtliche Strahlung geschützte Theil der Wiese nicht bethaut, während in der freien Umgebung eine starke Thaubildung stattfindet.

Dadurch erklärt sich auch, warum bei bewölktem Himmel keine Thaubildung stattfindet.

Dass der Thau nicht etwa, wie man früher meinte, ähnlich dem Regen, aus der Luft herabfällt, hat Wells durch folgenden Versuch bewiesen. Auf den Boden eines oben offenen Cylinders von gebranntem Ton, welcher $\frac{1}{3}$ Meter Durchmesser und 1 Meter Höhe hatte, wurde ein Bündel von 10 Gran Wolle gelegt. Obgleich nun dieses Bündel nach oben hin in keiner Weise geschützt war, so nahm es doch im Laufe einer heiteren Nacht nur 2 Gran Feuchtigkeit auf, während ein in der Nähe desselben frei auf den Boden gelegtes Bündel Wolle in der gleichen Zeit sich um 16 Gran schwerer wurde.

Selbst bei heiterem Himmel thaut es nicht, wenn ein etwas lebhafter Wind weht, weil er stets von Neuem warme Luft mit dem Boden in Berührung bringt und so theilweise wenigstens den Wärmeverlust ersetzt, welcher durch die nächtliche Strahlung veranlasst wird.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorener Thau. Wenn der Frost, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° sinkt, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf im physikalischen Sinne des Wortes; denn es ist ja ein verdichteter Dampf.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Grossen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen häufig, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich

alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren, schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so dass sich alle die Wasserdämpfe, welche am Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was soeben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, dass sich die Nebel vorzugsweise im Herbst über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstromes, welcher theilweis bis nach Newfoundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter scheinbar ganz verschiedenen Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit dem kalten Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, so muss nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf dieselbe Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken sind nichts anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muss die Luft ihrem Fall einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen, sie können sich also nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Demnach müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, dass bei ruhigem Wetter die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabkommen müssten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen

aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht impfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich in der Luft die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben. Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet; in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen. Ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, führt die Wolken auch in horizontaler Richtung fort, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Aufwindigkeit grösser ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Bläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser getragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer liegen, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden:

Die Federwolke, *cirrus*, besteht aus sehr zarten, bald mehr locken-, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Figur 326 (a. f. S.) sieht man in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. In schönem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem Wetter verwaschen.

Die Haufenwolke, *cumulus*, welche in unserer Figur gerade neben der Federwolke gezeichnet ist, bildet grosse halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen; diese Wolken kommen vorzugsweise im Sommer; manchmal thürmen sich Haufen zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

Die Schichtwolken, *stratus*, sind horizontale Wolkenstreifen (in unserer Figur unter den *cumulus*), welche vorzugsweise bei Sonnen- und Regen mit ausserordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über; und hat diese Uebergangsformen durch die Namen *cirro-cumulus*, *cirro-stratus*, *cumulo-stratus* und *nimbus* bezeichnet.

Die niedrige Haufenwolke, *cirro-cumulus*, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke; es sind die kleinen weissen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen verbunden sind, so bilden sie die niedrige Schichtwolke, *cirro-stratus*, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die *cirro-stratus* den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, *cumulo-stratus*, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blanschwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, *nimbus* (in unserer Figur links), übergehen.

Wenn man bedenkt, wie ausserordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken sein können, so begreift man wohl, dass es oft schwierig ist, zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Fig. 326



Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten. ~~am~~ auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20 000 Fuss bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, dass die *cirrus* nicht aus Nebelbläschen sondern aus Eispöckchen bestehen.

Die Haufenwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geföhrt, und dort wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, dass sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am hellen Himmel aufgegangen ist. Gegen Abend wird der Himmel wieder heiter.

Als die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom aufsteigt; in tieferen wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, während die Luft schon mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich auflösenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht aus Federwolken schwebt. Die unteren Haufwolken gehen dann mehr und mehr in *cumulo-stratus* über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die kleinen Dunstbläschen grösser und schwerer werden, wenn endlich kleine Bläschen sich nähern und zusammenfliessen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe, in der die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Falls grösser, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Regenmenge. Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem

Fig. 327.

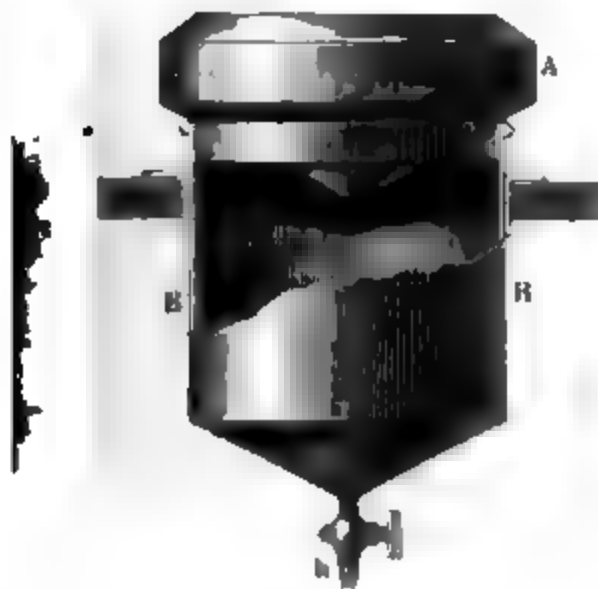


Fig. 328.



Bediente bedient, werden Regenmesser, Ombrometer, Udometer oder auch Hyetometer genannt. Fig. 327 stellt einen Regenmesser dar, wie er auf den schweizerischen, badischen und russischen meteorologischen Stationen in Anwendung ist. Der Regen fällt in ein Blechgefäss A, dessen obere freie Öffnung einen Flächeninhalt von 500 Quadratcentimeter hat. Aus A fällt das Wasser durch eine Öffnung von 1 Centimeter Durchmesser in das Reservoir B, auf welches das Gefäss A aufgesetzt ist, dass es leicht abgenommen werden kann. Das in B gesammelte Wasser wird jeden Tag um 2 Uhr Nachmittags durch den

Hahn *h* abgelassen und in dem graduirten Glascyylinder der Fig. 325 aufgefangen, der so getheilt ist, dass das Wasser, welches den Zwischenraum zwischen zwei auf einander folgenden Theilstrichen ausfüllt, auf einer Fläche von 500 Quadratcentimeter ausgebreitet, dieselbe mit einer $\frac{1}{10}$ Millimeter hohen Wasserschicht bedecken würde. Wenn also die in einer bestimmten Zeit gefallene Regenmenge den Cylinder bis zum *n*ten Theilstrich (von unten an gezählt) füllt, so ist in dieser Zeit so viel Regen gefallen, dass er den Boden bis zu einer Höhe von $\frac{n}{10}$ Millim. mit Wasser bedeckt haben würde, wenn kein Wasser in den Boden eingedrungen, oder abgeflossen oder verdunstet wäre.

Die folgenden Tabellen geben die Regenverhältnisse verschiedener Orte in Europa.

I. Portugal.

	Lissabon.	Coimbra.	Mafra.	Funchal auf Madeira
Jährliche Regenmenge	25,4 P.Z.	111,5	41,5	26,0
Im Winter	39,9 Proc.	21,0	53,4	50,6
„ Frühling	33,9	18,6	27,5	16,3
„ Sommer	3,4	17,6	2,7	2,8
„ Herbst	22,8	42,8	16,4	30,3

II. Westliches und südliches England.

	Insel Man.	Bristol.	Liverpool.	Manchester.	Lancaster.	Dover
Jahr	34,8 P. Z.	21,8	32,3	23,9	37,2	44,1
Winter	27,3 Proc.	20,5	21,6	24,0	26,2	30,3
Frühling	18,2	23,8	17,9	20,0	16,1	30,3
Sommer	19,7	23,2	27,7	27,0	28,3	21,6
Herbst	34,8	32,5	32,9	29,0	29,4	28,9

III. Inneres und östliches England.

	Oxford.	London.	Dumfries.	Glasgow.	Edin- burgh.	Chatts- worth.
.	20,6 P. Z.	23,4	34,7	20,0	23,3	25,9
r	21,9 Proc.	23,6	24,6	24,9	23,4	23,2
ng	19,3	22,4	18,3	17,8	19,9	19,9
er	24,4	23,5	25,5	29,9	26,8	27,9
.	34,4	30,5	31,6	27,3	29,9	28,9

IV. Westküste von Frankreich und die Niederlande.

	Bor- deaux.	La Rochelle.	Fran- ecker.	Rotter- dam.	Breda.	Middel- burg.
.	24,3 P. Z.	24,2	18,6	21,2	24,7	25,4
r	27,7 Proc.	28,2	21,9	16,5	23,2	21,8
ng	21,4	19,7	16,8	22,3	18,0	14,1
er	24,1	17,9	28,8	29,8	23,9	31,5
.	26,7	34,2	32,5	31,9	34,9	32,6

V. Westrheinische Gegenden.

	Paris.	Brüssel.	Cambray.	Metz.	Troyes.	Strass- burg.	Coblenz.
. .	20,8 P. Z.	17,9	16,0	27,2	22,4	25,6	20,9
r .	20,7 Proc.	18,7	13,8	21,6	18,7	16,0	16,2
ng	25,0	23,7	21,9	25	27,4	23,6	24,0
er	30,5	30,7	33,4	21,1	28,1	34,1	35,0
. .	23,8	26,9	30,9	31,1	25,8	26,3	24,9

VI. Deutschland.

	Mann- heim.	Stuttgart.	Ulm.	Regens- burg.	Tegern- see.	Göttin- gen.	E
Jahr . .	21,0 P. Z.	23,7	25,1	21,1	43,8	24,9	
Winter .	18,3 Proc.	20,1	21,3	19,3	16,4	18,4	
Frühling	23,7	19,8	19,5	17,7	18,5	18,1	
Sommer	32,6	33,5	36,6	40,1	44,7	35,9	
Herbst .	25,4	26,6	22,6	22,9	20,4	27,6	

VII. Schweden, Dänemark und Russland.

	Bergen.	Copen- hagen.	Stock- holm.	Upsala.	Alm.	I
Jahr	83,2 P. Z.	17,3	19,2	16,7	24,2	
Winter . . .	26,6 Proc.	19,1	14,8	17,4	17,7	
Frühling . . .	17,9	15,4	13,3	21,0	18,3	
Sommer . . .	21,0	37,7	38,0	32,8	28,0	
Herbst	34,5	27,8	33,9	28,8	36,0	

VIII. Südöstliches Frankreich und die Schweiz.

	Marseille.	Toulon.	Nimes.	Viviers.	Joyeuse.	Bourgen Bresse.	Tou- louse.	Dijon.	Genf.	Bern.
Jahr . .	20,6	17,5	23,7	33,9	47,7	43,3	23,7	23,9	29,8	43,2
Winter .	20,8	23,0	22,3	19,4	20,3	20,8	21,0	17,9	21,6	30,9
Frühling	22,3	24,1	24,0	22,2	23,1	24,6	26,2	25,6	21,8	30,0
Sommer	12,5	9,3	13,9	20,0	16,2	24,4	24,9	27,6	29,7	35,1
Herbst .	44,4	43,6	39,8	38,4	40,4	30,2	28,8	28,9	26,9	24,0

IX. Italien.

	Palermo.	Rom.	Genua.	Florenz.	Siena.	Mailand.	Verona.	Padua.	Rovigo.
.	20,7	29,3	44,4	38,7	32,0	35,5	34,6	34,6	30,8
.	39,1	31,0	27,2	35,7	19,7	21,1	18,3	19,0	31,0
.	24,3	24,9	28,6	20,9	26,2	24,1	25,4	26,4	27,4
.	5,5	9,7	9,2	12,9	18,2	23,9	26,1	25,6	14,3
.	31,1	34,3	35,0	30,5	36,9	30,9	30,2	29,0	27,3

erste Horizontalreihe einer jeden dieser Tabellen giebt die jähr-
menge in Pariser Zollen an, die folgenden Horizontalreihen
n an, wie viel Procente der jährlichen Regenmenge auf die ein-
hreszeiten kommen.

der Betrachtung dieser Tabellen ergibt sich zunächst, dass
pa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Pro-
eilen lässt..

England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Nieder-
d Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und
herrschen die Sommerregen vor.

Sommerregen treten im südöstlichen Frankreich, Italien, dem
Portugal, überhaupt in dem Theile Europas, welcher Afrika
liegt, bedeutend zurück.

Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom
; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1,
jährliche Regenmenge

- in den Ebenen von Deutschland 1,2
- im Inneren von England 1,4
- an den Küsten von England 2,1

Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeres-
, weil die Berge einen Niederschlag veranlassen, wenn sie von
ome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Re-
e in den Alpen.

einem und demselben Orte nimmt die Regenmenge mit der Höhe
i Boden ab, wahrscheinlich weil die Regentropfen, indem sie
mit Wasserdampf gesättigte Luft herabfallen, sich fortwährend

vergrössern; so fallen z. B. im Hofe des Observatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres durchschnittlich 57^{cm}, auf der 28 Meter höher liegenden Terrasse nur 50^{cm} Regen.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitt kommen auf das Jahr

im südlichen Europa	120 Regentage
im mittleren „	146 „
im nördlichen „	180 „

Dass die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch, wie viel es regnet. Wenn in den nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt sich z. B., dass in Petersburg die Zahl der Regentage zwar grösser, die Regenmenge aber geringer ist als in Rom.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg	168
in Kasan	90
in Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter und doch die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so gross als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen, als sonst in mehreren Wochen.

Von der aus einer langen Reihe von Beobachtungsjahren abgeleiteten mittleren jährlichen Regenmenge eines Ortes weicht die Regenmenge einzelner Jahre in weit auffallenderem Verhältniss ab, als die Temperatur eines bestimmten Jahres von dem allgemeinen Jahresmittel der Temperatur. Als Mittel aus 30 Jahren (1837 bis 1867) beträgt die jährliche Regenmenge zu Frankfurt a. M. 25,9 Pariser Zoll. Im Jahre 1864 betrug die gesammte Regenmenge nur 13,5'', im Jahre 1867 dagegen betrug sie 53,2''. Die Regenmenge des Juli 1867 betrug zu Frankfurt a. M. allein 8,9'', im Juli 1863 hingegen nur 0,7''.

Sehr ungleich ist auch oft die gleichzeitige Regenmenge verschiedener nicht weit von einander entfernter Orte, wie man aus Fig. 8 und Tab. 22 ersieht, in welcher dem 5ten Jahrgang der Schweizerischen Meteorologischen Beobachtungen zufolge die Regenmengen der einzelnen

vom 10. September bis zum 11. October 1868 für den Bernhardin, Gotthard und Altdorf zusammengestellt sind. Die Regenhöhen in dieser Figur nur in $\frac{1}{10}$ der wirklichen Grösse aufgetragen, Millim. also für 1 Centim. Regenhöhe.

Für den 28. September betrug die Regenhöhe für Altdorf 20^{mm}, den Gotthard 34^{mm}, für den Bernhardin aber 250^{mm} oder ungefähr Pariser Zoll. Zu Frankfurt a. M. betrug die gesammte Regenmenge ganzen Septembers 1868 nur 1,6 Pariser Zoll. Die enormen Regengen, welche in der letzten Hälfte des September 1868 auf dem Kamme Alpen fielen, veranlassten bekanntlich furchtbare Ueberschwemmungen.

Regen zwischen den Wendekreisen. Da, wo die Passate 233
le mit grosser Regelmässigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmässigkeit des Wetters gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes, sobald die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist. Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Januar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Regengüsse; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am grössten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende April beginnt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmählig verkürzt sich die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe; sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmässigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden sich ebenfalls regelmässige Regenverhältnisse; an der steilen Westküste Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Sommers zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südmoussons wehen und mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstossen. Während auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordpassat, also gerade zu der Zeit ein, in welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen

nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse Statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Menge von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstössen und elektrischen Entladungen, eine ungeheure Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

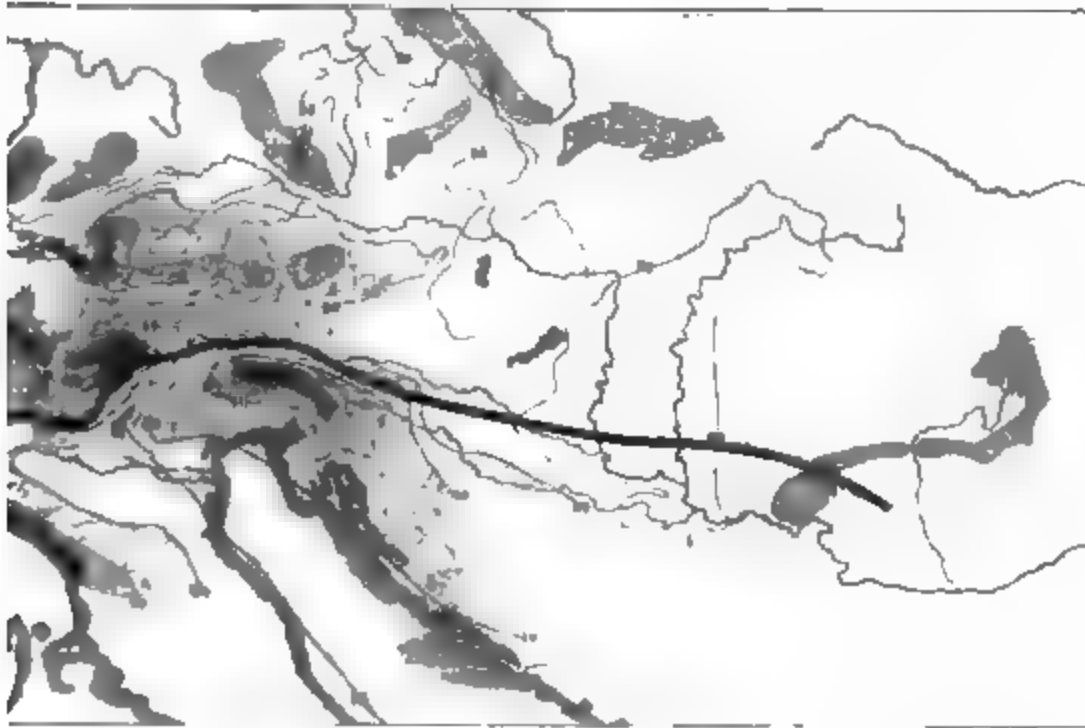
Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in den Tropen sehr gross, sie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leon 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havannah 58,7 und in Grenada 105 Pariser Zoll. Bedenkt man nun, dass der Regen nicht nur auf wenige Monate vertheilt ist und dass es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, so ist klar, dass der Regen sehr stark sein muss. In Bombay fiel an einem Tage 5 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen sind sehr gross und fallen mit solcher Geschwindigkeit nieder, dass sie auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Die Karte Tab. XXIII soll dazu dienen, ein Bild der Vertheilung des Regens auf der Erdoberfläche zu geben, und zwar ist die Schattirung um so dunkler, je grösser die Regenmenge eines Ortes ist. Man übersieht z. B. aus dieser Karte, dass in der Region der Calmen die Regenmenge sehr bedeutend ist, während auf dem Meere in der Region der Passate ungleich weniger Regen fällt; dass es auf den Inseln und an den meisten Küsten der grösseren Continente mehr regnet als in den Binnenländern u. s. w. Ausserdem findet man auf dieser Karte angegeben, in welcher Jahreszeit der Regen vorherrschend ist.

234 Hyetographische Karten sind solche, welche die Regenverhältnisse eines Landes anschaulich machen. In diesem Sinne ist Tabelle XXIII des Atlases eine hyetographische Erdkarte. Da eine solche die Regenverhältnisse der Erde nur im Grossen und Ganzen darstellt, dass man aus ihr nicht die speciellen Regenverhältnisse einzelner Länder entnehmen kann, versteht sich von selbst; zu diesem Zwecke muss man Specialkarten der fraglichen Länder von einem grösserem Maassstabe zur Hand nehmen, je mehr man in die Details der Regenvertheilung einzugehen beabsichtigt. In der That sind bereits hyetographische Karten verschiedener Länder ausgeführt worden, von denen wir als Beispiel v. Sonklar's Regenkarte der österreichischen Monarchie (im 4. Bande der Mittheilungen der königl. k. k. geograph. Gesellschaft) anführen wollen. Fig. 329 ist eine verkleinerte Copie dieser interessanten Karte, welche sehr deutlich die Beziehungen zwischen Bodengestalt und Niederschlag versinnlicht. Unser Kärtchen zeigt den Verlauf der Isohyeten, d. h. der Linien gleicher jährlicher Regenmenge von 10 zu 10 Pariser Zoll. Die Curve von 20 Par-

Zoll jährlicher Regenmenge schliesst die in der Karte weissgelassenen Gebiete ein, deren jährliche Regenmenge im Durchschnitt unter 20 Zoll beträgt. Die in sich zurücklaufenden Curven von 40" schliessen die

Fig. 329.



Gebiete ein, deren mittlere jährliche Regenmenge über 40" beträgt. Halb der Curven von 40" liegen die Curven von 50", 60" u. s. w. Die grösste Regenmenge des auf unserem Kärtchen dargestellten Gebietes kommt Maria am Stillsen Joch; sie beträgt 92 Pariser Zoll.

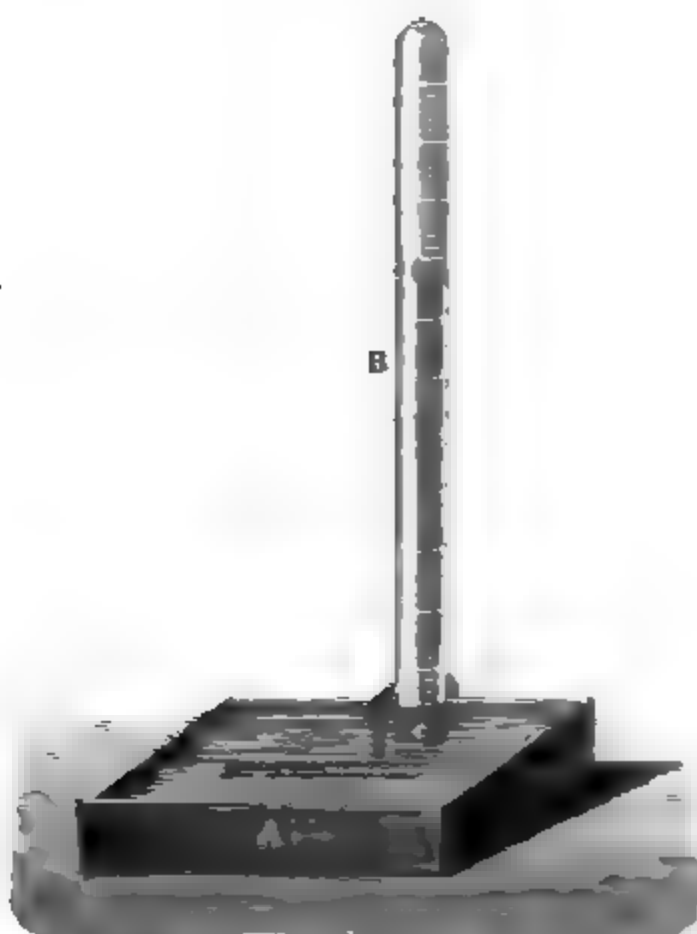
Nördlich von der starken dunklen Linie sind die Sommerregen vorherrschend.

Die Verdunstung. Zu den wichtigsten meteorologischen Daten 235
neben der Regenmenge ohne Zweifel die bis jetzt noch keineswegs
genügend berücksichtigte und beobachtete Verdunstung, durch welche
von einer freien Wasseroberfläche sowohl, wie von einem feuchten nackten
mit Pflanzen bedeckten Boden eine nach Umständen grössere oder
geringere Quantität Wasser als Dampf in die Atmosphäre übergeht.

Die Vorrichtungen, welche man construirt hat, um die Grösse der
Verdunstung zu messen, hat man Atmometer oder Evaporometer
genannt. Ursprünglich bestanden sie einfach aus oben offenen runden
oder quadratischen Gefässen, welche an einem vor Regen geschützten,
aber den atmosphärischen Einflüssen möglichst ausgesetzten Orte
aufgestellt, nahe bis zum Rande gefüllt wurden. Die Grösse der Ver-
dunstung ermittelte man entweder durch Wägung oder durch Messung
des Sinkens des Wasserspiegels, welche der Wasserspiegel in Folge der Verdampfung
erleidet. In neuerer Zeit hat man vielfach verbesserte Atmometer con-
struirt, welche aber auch zum Theil ziemlich complicirt sind. Eine der
einfachsten Formen des Atmometers dürfte wohl das in Fig. 330

dargestellte Prestel'sche sein (Jelinek, Zeitschrift für Meteorologie). An einem Blechgefäß *A* von quadratischem Querschnitt ist auf der Seite eine Nebenkammer angebracht und in diese eine graduirte Röhre *B* eingesetzt, in welche unten bei *o* eine seitliche Oeffnung gebohrt ist, welche sich dicht unter dem Wasserspiegel im Gefäß *A*

Fig. 330.

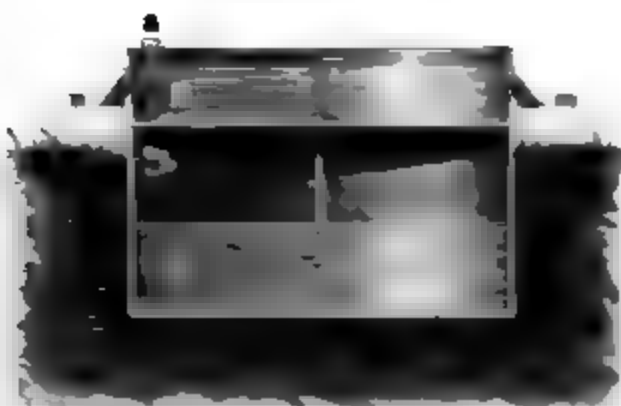


findet, so dass, wenn Niveau in *A* etwas gesunken ist, eine Luftblase in die Glasröhre *B* treten und dagegen solche Menge Wasser treten kann, dass der Wasserspiegel in *A* bis auf kleine Schwankungen verändert erhalten. Die Quantität des in bestimmten Zeit vom Gefäß *A* verdunsteten Wassers lässt sich mit großer Genauigkeit an der Theilung des Rohres *B* ablesen.

Dufour hat ein Instrument construiert, welches Siccimeter nennt (Bull. la Soc. vandoise des sciences naturelles tom. X, und dessen Zweck die Differenz zwischen

Regenmenge und Verdunstung anzugeben. Fig. 331 stellt das Siccimeter im Durchschnitt dar. Das aus Zinkblech gefertigte Gefäß *AD*, welches zum Theil in den Boden eingegraben ist, hat einen Durchmesser von 50 und eine Höhe von 25 Centimeter. Oben auf dasselbe das Gefäß *BC* gesetzt, welches bei gleichem Durchmesser nur 8 Centimeter hoch ist und welches gewissermaßen einen Deckel für *AD* bildet. Das Gefäß *BC* ist von einem conischen, gleichsam einfallenden Ringe aus Zinkblech umgeben, welcher verhindert, dass Wasser längs dem äußeren

Fig. 331.



Wasser längs dem äußeren Rande von *BC* in das untere Gefäß eindringen kann. In der Mitte des Bodens von *BC* ist eine 1¹/₂ Centim. weite Röhre eingelöthet, welche

mit Wasser gefüllt ist, welches durch die Röhre in das untere Gefäß *AD* sinkt. In der Mitte des Bodens von *BC* ist eine 1¹/₂ Centim. weite Röhre eingelöthet, welche

die Figur zeigt, an ihrem oberen Ende horizontal umgebogen ist unten nahe am Boden von AD mündet.

Um den Apparat in Gang zu setzen, wird er bis zur oberen Mündung des Rohres rs mit Wasser gefüllt und dann sich selbst überlassen. Nach Verdampfung wird sich der Wasserspiegel im oberen Gefäss senken, wenn er in Folge von Regen steigt. Wenn innerhalb einer gegebenen Periode die Regenmenge grösser ist als die Verdunstungsmenge, so wird der Ueberschuss des gefallenen Wassers durch das Rohr rs in das untere Gefäss AD abfliessen. Nach 2, 3, 4 Tagen wird das Niveau des Wassers in BC , und alsdann, nachdem man das Gefäss BC abgehoben, der Stand des Wassers in AD gemessen.

Die Messung des Wasserstandes in AD und BC wird mit Hülfe einer Millimeterscala ausgeführt, welche innerhalb der an der Wand des oberen und des unteren Gefässes befestigten Hülzen a und b auf- und abgehoben werden kann. Die Maassstäbchen werden in ihrer Hülse so weit vorgeschoben, dass ihr unteres, in eine feine Spitze auslaufendes Ende mit dem entsprechenden Wasserspiegel berührt. Zieht man von der Differenz R , um welche der Wasserspiegel im unteren Gefässe während mehrerer auf einander folgender Tage in Folge von Regen gestiegen ist, die Differenz V ab, um welche der Wasserspiegel des oberen Gefässes in Folge während derselben Zeit stattgefundenen Verdunstung gefallen ist, so erhält man den Ueberschuss der Regenhöhe über die Verdunstungshöhe. Wenn die Differenz $R - V$ wird negativ, wenn während der fraglichen Periode die Verdunstungsmenge grösser ist als die Regenmenge. Wir werden später noch auf die von Dufour mit dem Siccimeter zu Lausanne erhaltenen Resultate zurückkommen.

Der Verdunstung haben die Meteorologen bisher wenig, offenbar zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, wir können deshalb hier auch nur ausserst selten stehende Beobachtungsergebnisse anführen, welche Schübler (Vorträge der Meteorologie, 1831) zusammengestellt hat:

Jährliche Verdunstung nach Pariser Zollen.

Mana	130	Würzburg	25,4
Braille	85	Tübingen	23,9
in	73,2	London	23,8
anheim	68,8	Breda	23,2
gsburg	60,1	Rotterdam	23,0
rdcaux	59,1	Breslau	14,8
chester	41,5	Tegernsee	14,7
Rochelle	26,1	Salzuflen	14,5

Nach Saigey beträgt die jährliche Verdunstung für Paris 800^{mm}. Collin beträgt sie für

Strijau	1231 ^{mm}	Dijon	667 ^{mm}
Willau	848	Auxerre	557
in	808	Bar-le-Duc	531

Die Verdunstung vertheilt sich sehr ungleich auf die verschiedene Monate des Jahres. Nach Schübler's dreijährigen Beobachtung trägt die tägliche Verdunstung im Schatten zu Tübingen durchschnittlich im

Januar	0,18 Par. Linien	Juli	1,67 Par. Li
Februar	0,24 " "	August	1,33 "
März	0,67 " "	September	0,98 "
April	0,97 " "	October	0,54 "
Mai	1,16 " "	November	0,23 "
Juni	1,35 " "	December	0,19 "

Dass die Luftbewegung auf die Verdunstung von bedeu Einfluss ist, versteht sich von selbst.

Ist das Erdreich durch Regen völlig durchnässt, so verdunstet ihm während der ersten Stunden nach dem Regen oft mehr Wasser von einer freien Wasserfläche, während in den späteren Stunden die Verdunstung rasch abnimmt.

Einen sehr wesentlichen Einfluss übt die Vegetation auf die Verdunstung aus. Schübler fand z. B., dass von einer mit Pappel dicht bewachsenen Grasfläche während der kräftigsten Vegetation doppelt, ja dreimal so viel Wasser verdampfte, als von einem ruhenden stehenden Wasserspiegel. Mit eintretender Reife vermindert sich die Verdunstung.

Sehr instructiv sind die leicht graphisch darstellbaren Resultate, welche Dufour mit Hülfe des Siccimeters erhalten hat. Fig. 1 Tab. 22 stellt die im Jahre 1866, Fig. 2 stellt die im Jahre 1867 erhaltenen Resultate dar. Ein Aufsteigen der Curve bedeutet einen Ueberschuss der Regenmenge, ein Absteigen dagegen einen Ueberschuss der Verdunstung. So sehen wir z. B., dass schon für die ersten Tage des December 1865 der Ueberschuss der Regenmenge 4^{mm}, dass er im ersten Drittel des Januar 1866 bereits 8^{mm} betrug. Bis zu Anfang Juni 1866 betrug der Ueberschuss der Regenmenge bereits 44^{mm}. Im Laufe des Juni 1866 aber betrug der Ueberschuss der Verdunstung 10^{mm}.

Zu Lausanne betrug der Ueberschuss der Regenmenge im meteorologischen Jahr

1865	85 ^{mm}	
1866	690	Fig. 1 Tab. 22
1867	430	
1868	— 278	Fig. 2 Tab. 22

Im meteorologischen Jahre 1868 (von Anfang December 1867 zu Ende November 1868) war also die Verdunstung überwiegend, in drei vorhergehenden Jahren dagegen die Regenmenge. Im Laufe

Jahren betrug also der Ueberschuss der Regenmenge über die Verpfung 927^{mm} oder 491 Pariser Linien.

Gegen diese an den Ufern des Genfer Sees stattfindenden Verunstungsverhältnisse bilden die von Schenzl zu Ofen beobachteten n auffallenden Gegensatz. In einer dreijährigen Periode (Anfang i 1863 bis Ende Mai 1866) betrug die zu Ofen beobachtete Gesamtlanstung 2187 Pariser Linien, die gesammte Regenmenge dieser Pele aber nur 567^{'''}, also ein Verdunstungsüberschuss von 1620 Pariser ien, eine Erscheinung, welche durch die grosse Trockenheit bedingt welche in einem grossen Theile von Ungarn herrscht.

Einfluss des Waldes auf die Regenmenge. Es ist eine 236
fach beobachtete Thatsache, dass sich über ausgebreiteten Waldstrecken lter Wolken bilden als über kahlem Boden, und dass Wolken, welche über Wald und Wiese gebildet haben, über kahlem und ödem Felde der auflösen. Unter Umständen scheint eine üppige Vegetation selbst die Regenmenge von Einfluss zu sein. So gab es in der Mitte des igen Jahrhunderts in Oberägypten noch ziemlich häufig Regen, seit r die Bäume auf den Bergen an den Gränzen des Nilthals von den bern umgehauen worden sind, haben die Regen aufgehört und die sen sind verdorrt. Im Gegensatz hierzu regnet es gegenwärtig zu andria in Folge der von Mehmed Ali angelegten grossartigen ewollenpflanzungen 30 bis 40 Tage im Jahre und im Winter oft is 6 Tage hintereinander, während es zur Zeit der Napoleonischen edition vom November 1798 bis Ende August 1799 nur ein einziges and zwar nur 1½ Stunde lang geregnet hatte (Pogg. Ann. XXXVIII).

Aehnliche Erscheinungen werden auch aus Europa berichtet. So po der District la Bocage in der Vendée bewaldet war, gab es dort mer in Ueberfluss, seit den vielen Urbarmachungen aber, welche mit i Jahre 1808 begannen, entbehren die Aecker oft die Wohlthat des as und die Brunnen geben zuweilen nur spärlich Wasser.

Dass die Ausrottung der Wälder eine Austrocknung des Bodens Folge hat, ist keine Frage; damit ist aber noch keineswegs bewiesen, die Wälder im Allgemeinen einen namhaften Einfluss auf die Re-menge haben. Bis jetzt ist wenigstens eine Verminderung der hechnittlichen jährlichen Regenmenge durch Entwaldungen noch für e europäische Station nachgewiesen worden, und an benachbarten ionen, von welchen die eine mitten im Walde, die andere ausserhalb lben in einiger Entfernung von demselben liegt, hat man stets en die gleiche Regenmenge beobachtet. — Die Regenmenge der aus-hten Prairiefächen in den Staaten östlich vom Mississippi ist nicht rger als die Regenmenge der bewaldeten Gränzgürtel.

Und trotzdem sind manche sonst blühende Länder durch fortschrei-e Entwaldung in trostlose Wüsten verwandelt worden, in welchen Trockenheit des Bodens der Cultur die grössten Schwierigkeiten be-

reitet. Im auffallendsten Grade zeigt sich dies fast bei allen Küstern des mittelländischen Meeres. Die einst so gepriesenen Cedern des Libanon sind bis auf wenige alte Exemplare verschwunden, und es ist unmöglich, dort neue Wälder aufzubringen. Griechenland ist an vielen Stellen alles Baumwuchses entkleidet; das einst so walddichte Dalmatien ist gegenwärtig eine schattenlose Steinwüste. Italien, Sicilien, Spanien haben durch Entwaldung schwer gelitten.

Die Gegend südlich von Constantine war einst eine fruchtbare und ihre Ernten nährten damals Rom und Italien. Jetzt ist dem nicht mehr so, sondern es herrscht dort Dürre. Die Ursache dieses Wechsels liegt nicht in Veränderungen, welche von der Natur ausgegangen sind, sondern es ist hier wie vielfach anderwärts der Mensch selbst gewissermaßen der sich geschädigt hat. Mit der Eroberung des Landes durch die Araber im Beginne des achten Jahrhunderts fängt die Verwüstung an. Mit seinen Hirtengewohnheiten drang dieses Volk in das zuvor ackerbauende Land. Es verbrannte die Wälder um Weidegründe zu erweitern. Die Folgen waren Entwässerung und Entfruchtung. Die Eroberung Algeriens durch die Franzosen hat das Uebel noch vermehrt; sie waren ungeduldig, von dem Boden lohnende Ernten zu gewinnen, und verbrannten den Rest der Wälder um ihre Saaten in jungfräulichen Boden von ausserordentlicher Fruchtbarkeit zu legen. In der Folge wurde der Regen seltener, er fällt mehr in Wolkenbrüchen, als in wohlthätigen Schauern, und Wildbäche zerreißen und entführen die Fruchternte.

Auf diese Weise erklärt es sich denn auch leicht, dass die Entwaldung das Land entwässert, ohne dass die Regenmenge abnimmt. Wenn ein Boden, welcher eine starke Neigung hat, mit Pflanzenwuchs und namentlich mit Wald überdeckt ist, so verschlingen sich die Wurzeln in einander und bilden ein Netz, welches dem Boden grosse Festigkeit gewährt; die Zweige mit ihren Blättern schützen den Boden vor dem Anprall starker Regengüsse, und so hindert die Vegetation zunächst das Wegschwemmen der fruchtbaren Erde. Ein bewaldeter Boden ist also auch im Stande bei starken Regengüssen, bedeutende Wassermassen aufzunehmen, welche er bei eingetretener trockner Witterung nur allmählich an die tieferen Endschichten abtritt; er bildet auf diese Weise ein grosses Reservoir, welches auch in trockenen Tagen noch die Quellen reichlich zu speisen vermag, während von einem der zusammenhängenden Pflanzendecke entblössten Boden bei einigermaßen starkem Regen das Wasser nutzlos in verheerenden Strömen rasch abfließt.

Die Entwaldung hat also eine Verminderung des Quellenreichtums und ein Sinken des normalen Wasserstandes der Flüsse zur Folge, während dagegen die Ueberschwemmungen höher steigen und verheerender werden, als es vordem der Fall war. Ein trauriges Beispiel für diese Behauptung bietet das südliche Frankreich und namentlich das Rhodanien.

An den Mündungen der Wolga (Jelinek's Zeitschrift, 5. Bd.) tritt die Folge bedeutender Entwaldungen an ihrem oberen und mittleren Laufe

Hochwasser im Frühjahr früher ein als sonst, weil der entwaldeten Boden rascher schmilzt, während gleichzeitig Hochwassers zugenommen hat.

hnee. Die Wolken, aus welchen Schneeflocken herabfallen, 237
t aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eiskryställchen,
fortwährende Condensation von Wasserdämpfen während
lens wachsen und durch Aneinanderhängen einzelner Schnee-
i die Schneeflocken bilden. Sind die unteren Luftschich-
so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie den Boden erreichen,
en, während es oben schneit.

i ruhiger Luft nur spärliche Schneeflöckchen fallen, so
erraschend schöne und regelmässige Kryställchen, welche
n beobachten kann, wenn man sie auf einem dunklen unter
Körper auffängt. Schon Kepler hat auf diese Schnee-

Fig. 332.

Fig. 334.



merksam gemacht. — Scoresby, welcher auf seinen Polar-
reichlich Gelegenheit hatte, Schneeflocken zu beobachten,
r „Reise auf den Wallfischfang“ die Abbildung von 100
Schneefiguren, welche bei aller Mannigfaltigkeit doch dem-
lsysteme angehören, nämlich dem drei- und einaxigen,
teste Repräsentanten Bergkrystall und Kalkspath sind, und
gewise durch reguläre sechseitige Gestalten und deren
arakterisirt ist.

i Eis, wie es sich auf der Oberfläche ruhiger Gewässer
e diesem Krystallsysteme entsprechende Structur, wie sich
optischen Eigenschaften desselben nachweisen lässt (Lehr-
ik, 7. Aufl. Bd. I. Seite 872), obgleich sich an demselben
ie Krystallflächen auffinden lassen.

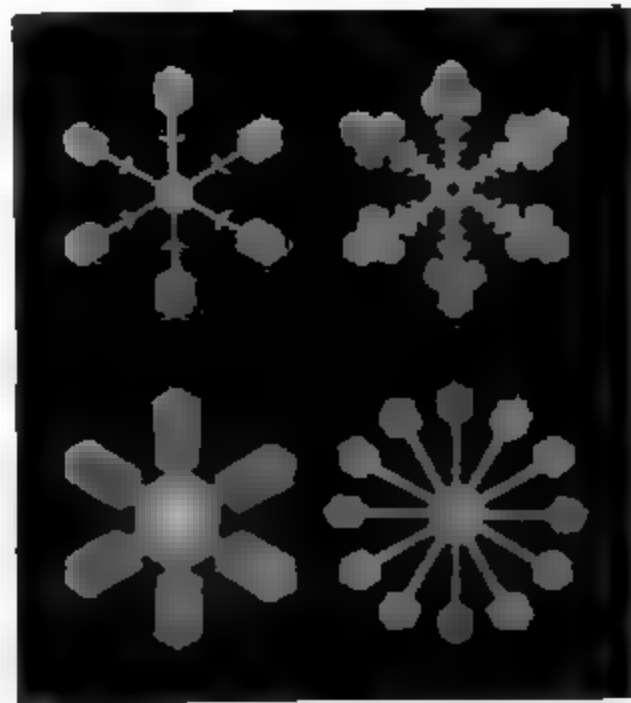
333 a. f. S. und 334 zeigen einige Schneefiguren, welche ich im
uar und Februar 1855 zu beobachten Gelegenheit hatte. —

Betrachtung findet man bald, dass die Bestandtheile, aus

welchen sich die Schneesternchen zusammensetzen, theils feine Nadeln, theils durchsichtige ganz dünne Eisblättchen sind, welche die Gestalt eines regulären Sechsecks haben. Auf diese durchsichtigen Eisblättchen erscheinen dann häufig gleichsam Verstärkungsrippen gesetzt, welche nicht wenig zur Verschönerung dieser zierlichen Gebilde beitragen, und welche in dem centralen Theile bald ein reguläres Sechseck, bald einen sechseckigen Stern bilden, wie man dies in Fig. 333 sieht.

Die Eisnadeln und die aus solchen gebildeten Combinationen sieht man in Fig. 332, beobachtet man in der Regel, wenn die Temperatur der Luft während des Schneefalls nur wenig unter den

Fig. 333.



punkt gesunken ist: bei niedrigeren Temperaturen werden die Eisnadeln und die aus ihnen gebildeten Combinationen, wie Fig. 333, häufig beobachtet. Unter einer Temperatur von 12° findet wohl kaum mehr ein Schneefall statt.

Die bisher betrachteten Schneesternchen, Fig. 332 und Fig. 333, sind durchaus flächenhafte Gebilde, da sie senkrecht zur Ebene ihres Sternes nur sehr dünn sind. Körperhaftere Gestalten treten auf, wenn mehrere solcher Schneesternchen den Gesetzen der Zwillingbildung entsprechend sich so verbinden, dass ihre Ebenen unter Winkeln zu einander sich schneiden, oder auch wenn zwei parallele Schneeblättchen durch eine auf ihrer Ebene senkrechte Säule oder Nadel verbunden sind. Von dieser Art sind die beiden unteren in Fig. 334 (a. v. S.). Bei der oberen dieser Figuren sind zwei sechseckige Eisblättchen durch eine senkrechte Säule verbunden. Scoresby bezeichnet diese Gestalt als eine äusserst seltene; ich selbst habe solche Schneekryställchen im Januar beobachtet. Die unterste Combination der Fig. 334, bei welcher

erer Schneestern mit einem kleineren Eistäfelchen durch eine Eis-
 verbunden ist, sah ich häufig zu Anfang März 1855. Die oberste
 der drei Gestalten, die sechsseitige Pyramide, welche an die ge-
 wöhnliche Form des Bergkrystalls erinnert, wurde von Scoresby be-
 merkt; diese Form ist aber gleichfalls eine höchst seltene.

Bei stürmischem Schneefall, wenn die Schneeflocken dicht fallen und
 die Luft durcheinander wirbeln, lassen sich die oben besprochenen
 klaren Figuren nicht mehr beobachten; die unter solchen Umständen
 fallenden Schneeflocken bestehen aus unregelmässig zusammenhängenden
 Nadeln.

Im Februar 1855 fand ich den frisch gefallenen Schnee ungefähr
 7 weniger dicht als Wasser, so dass also 7 Cubikfuss frisch gefallenen
 Schnees ungefähr so viel wiegen wie 1 Cubikfuss Wasser.

Die Oberfläche des Schnees zeigt eine rein weisse Farbe; wo aber
 reine Schnee zu etwas grossen Massen angehäuft ist, zeigt sich in
 Rinnen und Spalten desselben eine schöne blaugrüne Färbung, welche
 besonders deutlich hervortritt, wenn der Schnee durch theilweise Schmel-
 zung etwas mit Wasser durchtränkt ist. Es ist dies dieselbe schöne
 Färbung, welche man in den Spalten und Höhlungen des Gletschereises
 findet.

Der Graupelregen, welchen man gewöhnlich im März und April
 beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupel-
 körner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnadeln, sie
 sind gewissermaassen kleine Schneebällchen.

Der Hagel unterscheidet sich von den Graupelkörnern dadurch, 238
 dass er nicht aus geballten Eisnadeln, sondern aus dichtem, meist
 aus reinem Eise besteht.

Die gewöhnliche Grösse der Hagelkörner ist die einer Haselnuss;
 häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht
 besonders beachtet; oft sind sie aber auch noch weit grösser und zer-
 stören dann Alles, was sie treffen. Alte Chroniken erzählen von
 Hagelkörnern, welche so gross gewesen sein sollen wie Elephanten. Ohne
 bei solchen fabelhaften Erzählungen aufzuhalten, wollen wir sogleich
 die Aufzählung zuverlässiger Nachrichten übergehen.

Halley erzählt, dass am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welche
 10 Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörner ge-
 sehen, deren Durchmesser 4 Zoll betrug. Montignot sammelte den
 1. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmesser hatten.
 Er versichert, dass man unter den Hagelkörnern, welche in der Nacht
 vom 19. auf den 20. August 1787 die Stadt Como und ihre Umgebungen
 verheereten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen. Nach Nögge-
 rath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mai 1822 zu Bonn Hagel-
 körner, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind

sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit durchsichtiger Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder gleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten es $\frac{1}{4}$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit aus den Wolken entströmt, ist ungeheuer; die Erde ist manchmal mehr als eine Elle hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und bedeutende Tiefe zu haben; denn sie verbreiten in der Regel eine tiefe Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, dass sie eine eigentümlich grauröthliche Farbe besitzen, dass an ihrer unteren Gränze große Eiskugeln herabhängen und dass ihre Ränder vielfach zerrissen sind.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfter unter sich die Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten: ob jedoch die Hagelwolken immer so tief liegen, lässt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hören wir ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Um einen Begriff zu geben, wie weit und wie schnell die Hagelstürme furchtbare Geissel verbreiten kann, mögen hier einige nähere Nachrichten über das Hagelwetter folgen, welches den 13. Juli 1738 Frankreich und Holland durchzog.

Das Hagelwetter verbreitete sich gleichzeitig in zwei parallelen Streifen: der östliche Streifen war schmaler, seine grösste Breite 3, seine geringste $\frac{1}{2}$, geographische Meilen; der westliche Streifen an seiner schmalsten Stelle nahe 2, an seiner breitesten 3 Meilen. Diese beiden Streifen waren durch einen im Durchschnitt 3 Meilen breiten Streifen getrennt, auf welchem es nur regnete.

Die Richtung dieser Streifen ging von Südwest nach Nordost. Eine von Amboise nach Mecheln gezogene gerade Linie bildete ungefähre Mitte des östlichen, eine andere von der Mündung des Indre in die Gironde bis Gien gezogene bildete ungefähr die Mitte des westlichen Streifens.

Auf dieser ganzen Länge, welche über 100 Meilen beträgt, dauerte ohne Unterbrechung des Gewitters Statt, und sicheren Angaben kann man annehmen, dass es sich noch 50 Meilen weiter nach Süd und 50 Meilen weiter nach Norden erstreckte, so dass seine Totallänge

400 Meilen betrug. Es verbreitete sich mit einer Geschwindigkeit von 4 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es seinen Anfang genommen zu haben scheint, bis zum Baltischen Meere, wo man seine Spur verlor.

Der Hagel fiel nur 7 bis 8 Minuten lang; die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die schwersten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüsteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24,690,000 Franken geschätzt.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, so bietet sie zwei Schwierigkeiten; nämlich woher die grosse Kälte kommt, welche das Wasser gefrieren macht, und dann, wie es möglich ist, dass die Hagelkörner, wenn sie einmal so gross geworden sind, dass sie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müssten, noch so lange in der Luft bleiben können, dass sie in einer so bedeutenden Masse erwachsen können.

Was die erste Frage betrifft, so meinte Volta, dass die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt werden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung solle nun so viel Wärme gebunden werden, dass das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriert. Wenn aber die Verdunstung des Wassers in den oberen Wolkenschichten durch die Wärme der Sonnenstrahlen veranlasst wird, so ist nicht einzusehen, warum durch die Verdunstung in tieferen Wolkenschichten so viel Wärme entzogen werden soll.

In Beziehung auf die zweite Frage schlug Volta eine Theorie vor, welche grosse Celebrität erlangt hat; er nimmt nämlich an, dass zwei leichtige, mit entgegengesetzter Elektricität geladene Wolkenschichten vor einander schweben. Wenn nun die noch sehr kleinen Hagelkörner von der unteren Wolke fallen, so werden sie bis zu einer gewissen Tiefe vordringen und sich mit einer neuen Eisschicht umgeben; sie werden sich auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieser zurückgestossen, während die obere sie anzieht; sie steigen also trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo sich derselbe Vorgang wiederholt; so fahren sie eine Zeitlang zwischen den beiden Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Gegen diese Ansicht lässt sich einwenden, dass es schwer denkbar ist, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, also ohne einen Entladungsschlag, so grosse Eismassen in die Höhe zu heben vermag, und dass, wenn wirklich die elektrische Ladung der beiden Wolken auch so stark sein sollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur anderen übergehen müsste, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwischen ihnen herstellen.

Bereits im Januar 1849 theilte mir Fr. Vogel aus Frankfurt a. M. seine Ansicht über Hagelbildung mit, die ein, so viel ich weiss, bis dahin

Waller's kosmische Physik.

ganz unbeachtet gebliebenes Element zur Erklärung dieses räthselhaften Phänomens enthält. Vogel meint nämlich, dass der Bläschen, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten könne, ohne dass ein Erstarren eintritt, wie man das beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet (Lehrbuch der Physik, 7. u. 2. Bd. S. 686). Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graukörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen muss, auf ihnen sich Wasser niederschlagen, welches augenblicklich starrt. Der niedrigen Temperatur der Wolke wegen kann auf diese in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Es ist nun zunächst die Frage, ob es noch andere Phänomene gibt, welche gleichfalls darauf hindeuten, dass der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich existirt, d. h. dass es wirklich Regenwolken gebe, welche weit unter 0° erkaltet sind. (Bei den Schneewolken sind die Wassertheilchen bereits in den festen Zustand gegangen; denn diese Wolken bestehen aus feinen in der Luft schwebenden Eiskrystallen.)

Ich selbst habe in der That ein solches Phänomen beobachtet. Im Januar 1845 fiel, nachdem das Thermometer einige Tage lang dem Gefrierpunkte gestanden hatte, ein Regen, welcher den Boden mit Eiskruste überzog. Dass diese Erscheinung nicht etwa ein gewöhnliches Glatteis war, versteht sich von selbst, denn der Boden war nicht 0° erkaltet, er konnte also nicht die Ursache der Erstarrung sein. Ich nahm Regenschirme, die aus dem warmen Zimmer genommen worden, wurden in kurzer Zeit durch diesen Regen mit einer $\frac{1}{2}$ Linien dicken durchsichtigen Eiskruste überzogen.

Am 13. November 1858 habe ich dieselbe Erscheinung ebenfalls beobachtet.

Diese auffallende Erscheinung, welche ich als eine ganz verstehende Thatsache fast vergessen hatte, erhielt nun durch Vogels Mittheilung eine grosse Bedeutung: denn sie liefert den Beweis, dass der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich vorkommt. Offenbar bestanden die fallenden Regentropfen aus Wasser, welches unter dem Gefrierpunkt erkaltet war, aber erst beim Aufschlagen auf feste Körper erstarrte.

Etwas später als Vogel theilte mir C. Nöllner in Hamburg ganz ähnliche Ansicht über Hagelbildung mit, ohne dass er wohl Vogels Theorie, die meines Wissens noch nirgends publicirt war, Kenntniss haben konnte.

Eine schöne Bestätigung der eben vorgetragenen Theorie der Hagelbildung lieferte die am 27. Juli 1850 von Barral und Bixio unternommene Luftfahrt. — Der Himmel, welcher bis Mittag vollkommen rein gewesen, begann um 1 Uhr, als die Füllung des Ballons beendigt war, sich mit Wolken zu überziehen und alsbald trat Regen

r bis 3 Uhr in Strömen herabfiel. Erst um 4 Uhr, als der Himmel ganz bedeckt war, konnte die Fahrt begonnen werden. Folgendes sind einige Temperaturbeobachtungen, welche in den beiden, durch das Barometer bestimmten Höhen beobachtet wurden.

Nr. 1	.	.	16° C.	.	.	2300 Par. Fuss
" 2	.	.	9	"	.	6000 " "
" 3	.	.	0,5	"	.	11250 " "
" 4	.	.	— 7,0	"	.	15360 " "
" 5	.	.	— 10,0	"	.	18990 " "
" 6	.	.	— 15,0	"	.	19530 " "
" 7	.	.	— 39,0	"	.	21060 " "

kurz nach dem Aufsteigen sahen sich die Luftschiffer in einen Nebel eingehüllt; bei der Beobachtung Nr. 2, also in einer Höhe von ungefähr 6000 Fuss, hatten sie bereits eine Wolkenschicht unter sich, welche Paris verdeckte.

Bei der Beobachtung Nr. 4, also in einer Höhe von 15360 Fuss, war der Nebel so dicht, dass ihnen die Erde vollständig verschwand.

Bei der Beobachtung Nr. 5 wurde der Nebel etwas dünner, so dass man ein weisses blasses Bild sehen konnte, zugleich fielen äusserst feine Eisnadelchen nieder. Kurz darauf erhoben sie sich aus der Wolkenschicht, wobei das Thermometer rasch auf $-23,8^{\circ}$ C. fiel. Bei den Beobachtungen Nr. 6 und 7 war der Himmel vollkommen heiter.

Am 1. April und Bixio durchstiegen also eine Nebelschicht von wenigstens 2000 Fuss Höhe. Von einer Höhe von ungefähr 11000 Fuss an fiel das Thermometer unter den Gefrierpunkt, und doch ging der Nebel weiter. Bei einer Höhe von nahe 18000 Fuss bei einer Temperatur von $-23,8^{\circ}$ C. in Schneewolken (Eisnadelchen) über, es war also eine ungefähre Höhe von 18000 Fuss eine hohe Wolke vorhanden, in welcher der Bläschedampf unter dem Gefrierpunkt erkaltet war.

Im Jahre 1862 veröffentlichte Mohr eine neue Hageltheorie, welche die Hagelbildung auf das Hereinbrechen kalter Luftmassen aus höheren Luftregionen in tiefere, mit Wasserdampf gesättigte Luft zurückzuführen sucht.

Der gleiche Grundgedanke liegt auch einer schon im Jahre 1844 von Schwaab in Kassel veröffentlichten Hageltheorie zu Grunde.

Im folgenden besondern Werth erhält die als Inauguraldissertation bei Dr. Th. Schardt in Kassel erschienene Schwaab'sche Abhandlung durch die Zusammenstellung der Hagel-Literatur.

Die Grundidee Schwaab's ist folgende: Bei der Hagelbildung dringt ein kalter Luftstrom in die Gewitterregion eindringen, wobei eine Mischung der verschieden erwärmten Luftschichten vor sich geht. Durch die Mischung wird der Wassergehalt derselben condensirt, es bilden sich Wolken und Graupeln, welche bei ihrer Fortbewegung vergrössert

(indem auf ihrer Oberfläche beständig Dampf niedergeschlagen wird dann ebenfalls gefriert), zuletzt als Hagelkörner herabfallen.

In eine mit Wasserdampf gesättigte und dadurch gleichsam für Gewitter vorbereitete Atmosphäre kann nun ein kalter Luftstrom weder dadurch eindringen, dass sich die kalten Luftschichten aus oberen Regionen senken, oder dadurch, dass ein eisiger Luftstrom der nördlichen Zone heranstürmt. Im ersteren Falle wird sich, Schwaab sagt, die kalte Luft über den mit Wasserdampf gesättigten Schichten ausbreiten und nach und nach in denselben einsinken. Im zweiten Falle aber wird der kalte Luftstrom die mit Wasserdampf gesättigten Schichten durchbrechen und sich schneller oder langsamer ihnen mischen oder auch mehr unter denselben in den tieferen Regionen näher der Erde hinströmen.

Ohne weiter in das Detail der Schwaab'schen Entwicklungen zugehen, muss nur noch bemerkt werden, dass er die Wärme, welche bei der Condensation des Wasserdampfes und dem Gefrieren in der Luft schwebenden Wassermassen frei wird, für so gering hält, sie bei der Betrachtung vernachlässigt werden könne, eine Behauptung, welcher ich durchaus nicht beistimmen kann.

Mohr hat seine Hageltheorie im CXVII. Bande von Poggendorfs Annalen (1862) publicirt. Eine nur oberflächliche Vergleichung Mohr'schen Aufsatzes und der Schwaab'schen Abhandlung reicht um die Ueberzeugung der vollen Originalität der Mohr'schen Arbeit begründen.

Im Eingang seiner Abhandlung bespricht Mohr kurz die Theorien von Volta, Leopold v. Buch und Vogel und sagt, dass den gemeinschaftlichen Fehler haben, die Entstehung der Kälte erklären zu wollen, welche das Gefrieren bewirkt. Der Vogel'schen Theorie aber dieser Vorwurf so wenig gemacht werden, wie seiner eigenen, von welcher Mohr sagt: Ich erkläre nicht die Entstehung der Kälte, sie ist vorhanden: sie liegt in den oberen Schichten der Atmosphäre. Mit gleichem Rechte kann man von der Vogel-Nöllner'schen Theorie sagen: sie erklärt nicht die Entstehung der Kälte, sie ist vorhanden, liegt in den unter 0° erkalteten und doch noch flüssiges Wasser enthaltenden Wolken. — In dieser Beziehung stehen also die beiden Theorien so verschieden, wie auch sonst sein mögen, auf völlig gleichem Boden.

Den Ausgangspunkt der Mohr'schen Hageltheorie bildet die Thatsache, dass in höheren Luftregionen die Temperatur ausserordentlich schnell abnimmt (so fanden z. B. Barral und Bixio bei einer Luft in einer Höhe von 19 500 Fuss die Temperatur — 15° C., in einer Höhe von 21 000 Fuss aber — 39° C.), und dass ferner in einer Höhe von ungefähr 18 000 Fuss das Volumen des gesättigten Wasserdampfes 200 000 bis 300 000mal viel grösser ist, als das Volumen einer gleichen Quantität flüssigen Wassers. „Es muss also,“ sagt Mohr weiter, „mit der Verdichtung von Wasserdampf eine ganz ungeheure Raumverminde-

stfinden, so dass 1 Kubikmeter Wasserdampf nur zwischen 3 bis $3\frac{1}{2}$ Kubikcentimeter flüssiges Wasser giebt. Diese Raumverminderung oder Vacuumbildung ist nun die eigentliche Ursache aller hier auftretenden Erscheinungen. Das Vacuum kann nur von den Seiten und von unten ausgefüllt werden, alle diese Schichten sind kälter, stürzen mit Bewegung in den luftverdünnten Raum, bringen dort wegen ihrer Kälte neue Verdichtung und Raumverminderung hervor und sind dadurch die Ursache, dass wieder neue, noch höhere und kältere Luftschichten herangezogen werden. Je rascher die Verdichtung der Wasserdämpfe durch die hineinfallende kalte Luft geschieht, desto mehr muss der Ersatz aus den senkrecht darüber liegenden Schichten genommen werden und desto länger haben die daneben liegenden Luftschichten Zeit, in das Vacuum nachzurücken. Indem aber die kälteren Luftschichten aus dem geringeren Druck der grösseren Höhe in tiefere Schichten der Atmosphäre angesaugt werden, gerathen sie unter einen höheren Druck und werden nach dem Mariotte'schen Gesetz zusammengedrückt. — Es ist der zweite Grund der so ungeheuren Gleichgewichtsstörung, dass der Raum durch blosser Ortsveränderung eine grosse Einbusse an Volumen erleidet. Es wird also der über der Verdünnungsstelle gebildete leere oder luftverdünnte Trichter grösser sein, als das von ihm in den unteren Luftschichten ausgefüllte Vacuum ist. Zwar wird die herabgezogene kalte Luft durch Compression etwas erwärmt, auch hat der verdichtete Wasserdampf seine latente Wärme abgegeben, aber diese schwachen Wärmewirkungen werden reichlich von der Kälte der oberen Schichten absorbirt, und ihre Wirkung besteht bloss darin, dass der Hagel nicht ganz so kalt ist als die Luft, welche ihn gebildet hat.

„Es ist einleuchtend, dass jede Hagelbildung mit Wasserverdichtung beginnen muss, denn im Anfang werden die nächsten wenig kalten Luftschichten eingeschlürft und diese werden den Wasserdampf zu abgekühltem Wasser verdichten. Indem dies Wasser herunterfällt und in den unteren wasserreichen Luftschichten neue Wasserbildung und Raumveränderung erzeugt, werden die kälteren höher liegenden Schichten herangezogen und das bereits gebildete flüssige Wasser zum Gefrieren gebracht. — — Was kann geschehen, wenn Wasser bereits flüssig geworden ist und es wird — — — eine Luftschicht von — 35° C. hineingebracht? Es gefrieren nicht nur die einzelnen Tropfen, sondern es frieren eine Menge Tropfen im Augenblick des Erstarrens an einander. — —

„Es bildet sich also in der hagelnden Wolke ein trichterförmiger Wirbel von eiskalter Luft, gefrorenem Wasser und daneben noch flüssigem Wasser, welches schraubenförmig wirbelnd zur Erde niederbraust. Daher die notwendige Bedingung, dass der eigentliche Hagel nur eine sehr geringe Ausdehnung hat und dass der mittelste Theil des Hagelwirbels die grössten Schlossen und die grösste Kälte hat.“

Bei aller Anerkennung für die lebendige Darstellung, mit welcher

Mohr den Verlauf des Hagelwetters vor den Augen des Lesers vorüberführt, und für die geistreiche Weise, in welcher er durch seine Theorie den Hagel mit den ihn meist begleitenden elektrischen Erscheinungen des Gewitters zu verbinden weiss, kann ich doch nicht umhin, einige Bedenken gegen diese Theorie auszusprechen.

Wenn durch eine massenhafte Condensation von Wasserdampf an irgend einer Stelle der Atmosphäre eine namhafte Luftverdünnung entstanden ist, so ist nicht abzusehen, warum sich die Luft nicht von allen Seiten, warum sie vorzugsweise von oben her in das Vacuum hinein stürzen soll; im Gegentheil wird die verdünnte, durch die bei der Condensation des Wasserdampfes noch mehr ausgedehnte Luft in die Höhe steigen, während die dichtere Luft von unten und von den Seiten her in den verlassenen Raum der aufsteigenden eindringt.

Ein weiteres Bedenken gegen die Mohr'sche wie gegen die Schwab'sche Theorie dürfte darauf sich gründen, dass die Wärmemenge, welche bei der Condensation des Wasserdampfes in der Atmosphäre frei wird, keineswegs eine so unbedeutende, ohne Weiteres zu vernachlässigende Grösse ist. Bei einer Temperatur von 20° C. kann 1 Kubikmeter Luft 17 Gramm Wasserdampf aufnehmen. Durch die Condensation von 17 Gramm Wasserdampf zu tropfbar flüssigem Wasser werden 17×540 also 9180 Wärmeeinheiten frei. Diese Wärme aber reicht hin, um die Temperatur von 1 Kubikmeter Luft von atmosphärischer Dichtigkeit (1293 Gramm) um 30° C. zu erhöhen. Die specifische Wärme der atmosphärischen Luft ist nämlich (die specifische Wärme des Wassers gleich 1 gesetzt) gleich 0.23; damit die obige Luftmasse um 1° erwärmt werden kann, sind also 1293×0.23 oder 298 Wärmeeinheiten nöthig, es werden also

9180 Wärmeeinheiten in derselben eine Temperaturerhöhung von $\frac{9180}{298}$

Graden hervorzubringen im Stande sein. Daraus scheint mir aber zu folgen, dass die Condensation des Wasserdampfes zu flüssigem Wasser und das Erstarren des Wassers zu Hagelkörnern nicht in einem Augenblicke rasch auf einander erfolgen können. Das durch Condensation der Dämpfe gebildete Wasser muss sich erst mit der Luft, in welcher es schwimmt, allmählig abkühlen, ehe die Eisbildung erfolgen kann.

Sehen wir nun weiter, wie Mohr die Erscheinungen des Hagels und die des Gewitters mit einander verknüpft.

„Nothwendig aus der Theorie geht die schmale Breite des Hagelstriches hervor. Nur der innerste Theil des Hagelstrudels kommt zum Gefrieren. Findet das Durchdringen auf einer grösseren Ausdehnung gleichförmig Statt, so erreicht die Mitteltemperatur nicht den Gefrierpunkt. Ferner geht aus der Theorie hervor, dass das Hagelwetter nicht still stehen kann. Durch Abkühlung und Entwässerung der unteren Luftschichten hören die Bedingungen der Vacuumbildung und damit das Einströmen kalter Luft auf. Tritt aber das Hagelwetter über neue warme und feuchte Luftschichten, so sind die Bedingungen wieder vorhanden.“

Erscheinung kann, wenn sie fortrückt, unbestimmt lange dauern, aber nicht längere Zeit an einem Orte stehend verweilen. Noch hat man einen Hagel gesehen, der nicht rasch vorüberzog und nicht schmal war. Aus der Bewegung schöpft das Hagelwetter neue Kraft zum Gehen. Das Gewitter ist die allgemeine Form der stürmischen Wasserverdichtung, von der der Hagel nur die einzelne ist, bei der die Temperatur bis zum Gefrieren kommt. Die Gewitterbildung geht in der Ruhe vor sich; ein ausgebrochenes Gewitter kann nicht mehr stillstehen, sondern muss sich bewegen. Das Zusammenziehen

des Gewitters findet an ruhigen, schwülen Tagen Statt. Der erste Wolkenschleier verdichtet sich endlich zur vollkommen schwarzen drohenden Gewitterwolke. Treten sich die Wolkenbläschen so zusammen, dass sie sich vereinigen und Tropfen bilden, die als Regen herabfallen, so kommt die Vacuumbildung in die untersten wärmsten Theile der Luft und die Bewegung in der Wolke wird lebhafter. Die kührende obere kalte Luft erzeugt den Blitz durch Reibung, und es folgt ein reichlicher Regenguss, welcher die Ursache des Blitzes und seine Folge war. Sobald der Regen begonnen hat, wird die Ruhe der Gewitterwolke gestört. Nichts ist leichter beweglich, als was in der Luft schwebend schwimmt. Schon der Schatten der immer dichter werdenden

Wolke veranlasst eine kleine Abkühlung und Raumverminderung der Luft, nach welcher Seite hin die Wolke sich leise bewegt. Je mehr Regen wird dies reichlicher und damit wächst die Bewegung. Das Gewitter schöpft aus der Bewegung neue Kräfte dazu, so dass die Entwicklung Anfangs sehr langsam, dann rascher, immer rascher stürmischer vor sich geht. Ein Gewitter, dessen Zusammenziehung nach dem Mohr 7 Stunden lang beobachtete, war nach dem ersten Regenguss in einer halben Stunde bis zu ihm, und nach einer Viertelstunde vollständig vorübergezogen. Ein Gewitter, dessen Bewegung sich einmal entschieden hat, kann keine Ruhe mehr haben, es zieht von dieser Seite fortstürmen. Die Vacuumbildung kann nur mehr an der Seite am stärksten, wo die Luft am feuchtesten und wärmsten ist, da, wo es noch nicht geregnet hat. Hinter dem Gewitter ist die Luft abgekühlt und zum grossen Theil ihres Wassergehalts beraubt. Indem das Gewitter unter sich das Vacuum bildet und dasselbe hineintritt, kann es ganze Länder in gerader Linie durchziehen. Das Gewitter wird nicht vom Sturm gebracht, es macht den Sturm und führt ihn mit sich. Vor und nach dem Gewitter ist Stille. Die Gewitter kreuzen sich, vereinigen sich, weil sie in einer Luft auf eigenen Füßen laufen. Wer mitten im Gewitter steht, empfangt die herabstürzende Luft- und Wassertrombe, erkennt ihre Richtung an den Erscheinungen. Die Pappeln beugen ihre Köpfe zur Erde, die Wimpel der Schiffe streben stramm am Flaggenmast nieder, belaubte Bäume erscheinen oben platt gedrückt, dürre Blätter fliegen unter dem Luftstrom vom Boden auf; daher die Abküh-

lung durch die Gewitter. Die obere kalte Luft wird durch das Gewitter in die untere warme hineingetrieben und damit vermengt. Die Mitteltemperatur nach dem Durchpeitschen muss an der Erde gesunken, in den Wolken gestiegen sein. Die Kälte, die wir spüren, ist die der höheren Luftschichten. Die elektrischen Erscheinungen sind zweiten Ranges, blosse Folgen der Reibung der Wolken gegen die hineinstürzende Luft und in Bedeutung unendlich klein gegen die sonstigen mechanischen Effecte des Gewitters. Sie erscheinen dem Menschen fürchterlicher wegen ihres Eindrucks auf die Sinne.“

Wenn auch die Vogel-Nöllner'sche Ansicht von der Hagelbildung noch keineswegs eine vollendete Theorie genannt werden kann, indem sie über manche die Hagelwetter begleitende Erscheinungen keine Rechenschaft giebt, so glaube ich doch, dass sie eine Grundlage bietet, welche beim Aufbau einer Hageltheorie nicht unberücksichtigt bleiben darf.

Im zweiten Bande meines Lehrbuchs der Physik (7. Auflage, S. 657) ist angeführt worden, dass Dufour in Lausanne die Beobachtung gemacht hat, die Wasserkugeln, welche in einer entsprechenden Mischung von Chloroform und Mandelöl schweben, auf -8 bis -10° , kleinere Kügelchen selbst auf -20° C. erkaltet werden können, ohne zu gefrieren. Diese Beobachtung führte Dufour auf die Idee, dass auch der in der Luft schwebende Bläschendampf oder die kleinen Wasserkügelchen, welche in der Luft schwebend die Wolken bilden, sich in einem ähnlichen Zustande befinden könnten und dass hierin der Grund zur Erklärung des Hagels zu suchen sei. (Archives des sciences de la bibliothèque universelle de Genève, Avril 1861.) Im Maiheft derselben Zeitschrift aber verzichtet Dufour auf die Priorität dieses Gedankens zu Gunsten De la Rive's, welcher in dem im Jahre 1856 erschienenen 3. Bande seines *Traité d'électricité* pag. 178 die Entstehung des Hagels auf denselben Entstehungsgrund zurückführt.

Wenn auch, wie wohl nicht bezweifelt werden kann, Dufour sowohl wie De la Rive die von Vogel und Nöllner gegebene Erklärung der Hagelbildung vollkommen unbekannt geblieben ist, wenn sie auch vollkommen selbstständig diesen Erklärungsgrund aufgefunden haben, so muss ich die Priorität des Gedankens doch für die Herren Vogel und Nöllner in Anspruch nehmen, welche ihn 9 Jahre früher ausgesprochen haben. Es ist dies ein in der Geschichte der Wissenschaft öfters vorkommender Fall, dass verschiedene Gelehrte vollkommen unabhängig von einander und zwar oft auf ganz verschiedenen Wegen zur Auffindung derselben Wahrheit gelangen.

VIERTES BUCH.

DIE

**EKTRISCHEN UND MAGNETISCHEN
ERSCHEINUNGEN**

AUF DER

ERDOBERFLÄCHE.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektricität.

Entdeckung der atmosphärischen Elektricität. Otto 239

Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, der eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Als später, 1708, er einem grossen geriebenen Harzcylinder kräftige elektrische Funken entlockte, kam er alsbald auf den glücklichen Gedanken, denselben mit

Blitze zu vergleichen. „Dieser Funken und dieses Knacken,“ sagt er in seiner Abhandlung (Philosoph. Transactions), „scheinen gewissermassen den Blitz und den Donner darzustellen.“ Die Analogie war raschend; um aber ihre Wahrheit darzuthun, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze von einer der grossartigsten Naturerscheinungen zu erkennen, bedurfte es directer experimenteller Einsicht.

Die Aehnlichkeit zwischen dem elektrischen Funken und dem Blitze wurde noch deutlicher hervor, als die Entdeckung der Leidner Flasche und der elektrischen Batterie gemacht worden war; Franklin war jedoch der Erste, welcher daran dachte, das von ihm aufgefundene Ausströmen

Einsaugen der Elektricität durch Spitzen zu benutzen, um unmittelbar die elektrische Natur der Gewitterwolken nachzuweisen und sich durch solche Spitzen vor den Entladungen derselben zu schützen. Da er aus Mangel an Hilfsmitteln die entsprechenden Versuche nicht selbst anstellen konnte, so munterte er die Physiker Europas auf, dieselben zu folgen. Der Erste, welcher dieser Aufforderung Folge leistete, war Franklin, ein französischer Physiker, welcher zu Marly-la-Ville eine Stange bauen liess, über welcher eine am unteren Ende isolirte Eisenstange 40 Fuss Länge aufgerichtet wurde. Als am 10. Mai 1752 eine Gewitterwolke über die Stange hinwegzog, liessen sich aus dem isolirten Ende derselben Funken ziehen, und überhaupt zeigte es alle Erscheinungen, welche man am Conductor der Elektrisirmaschine beobachtet.

Unterdessen hatte aber auch Franklin selbst seine Idee weiter verfolgt. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurms, welcher damals zu Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich des Wartens müde, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben musste. Da es ja nur darauf ankam, einen Leiter hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, dass ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte, wie der höchste Thurm. Er verfertigte also einen Drachen, welchem er statt des Papiers, welches vom Regen aufgeweicht und leicht vom Winde zerrissen worden wäre, ein grosses seidenes Tuch wendete. Am oberen Ende des verticalen Stabes im Drachen befestigte er eine eiserne Spitze, welche mit der Schnur in leitende Verbindung gebracht wurde, an welcher man die ganze Vorrichtung steigen liess.

Mit diesem Drachen begab sich Franklin, nur von seinem Knecht begleitet, ins Freie, als ein Gewitter aufstieg. Eine Wolke, welche Versprechungen machte, zog über dem Drachen hin, ohne irgend eine Wirkung vorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, und es zeigte sich kein Funken, kein Zeichen von Elektricität, ohne Zweifel, weil die Schnur zu schlechter Leiter der Elektricität war; endlich, nachdem sie den Regen feucht und in Folge dessen besser leitend geworden waren, legten sie die Fasern am unteren isolirten Ende der Schnur an, sich anzufassen, und es liess sich ein schwaches Geräusch hören. Dadurch erhielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und da ein Funken sprang über, welchem bald mehrere folgten.

Franklin hatte diesen Versuch im Juni 1752 angestellt. Franklin's ersten Gedanken geleitet, war auch De Romas darauf gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Leiter anzuwenden.

Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt sein Knecht mit seinem Drachen im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er den glücklichen Gedanken hatte, in die Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht einflechten zu lassen. (Mémoires de Savans étrangers, Tome II.) Im Jahre 1757 wiederholte De Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Grösse. „Denke sich,“ sagt er, „Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuss Länge und 1/2 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches eben so stark, ja noch stärker ist, als ein Pistolenschuss. In weniger als einer Stunde erhielt ich wenigstens 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 2 bis 3 und weniger Fuss lang waren.“ (Mémoires de Savans étrangers, Tome III.)

Um das untere Ende der leitenden Schnur gehörig zu isoliren, wendete De Romas eine seidene Schnur von 8 bis 10 Fuss Länge daran, die er so an den Funken zog, wie es Franklin gethan hatte und was ihm leicht hätte geschehen können, mit der Hand auszuziehen, wandte er zu diesem Zweck einen eigenen Funkenzieher, d. h. einen metallischen Stab an, welcher mit dem Boden in leitender Verbindung stand. Trotz

er Vorsichtsmaassregeln aber wurde er einmal durch einen Schlag, der ihn selbst traf, zu Boden geworfen.

Feste Sammelapparate für atmosphärische Elektri- 240

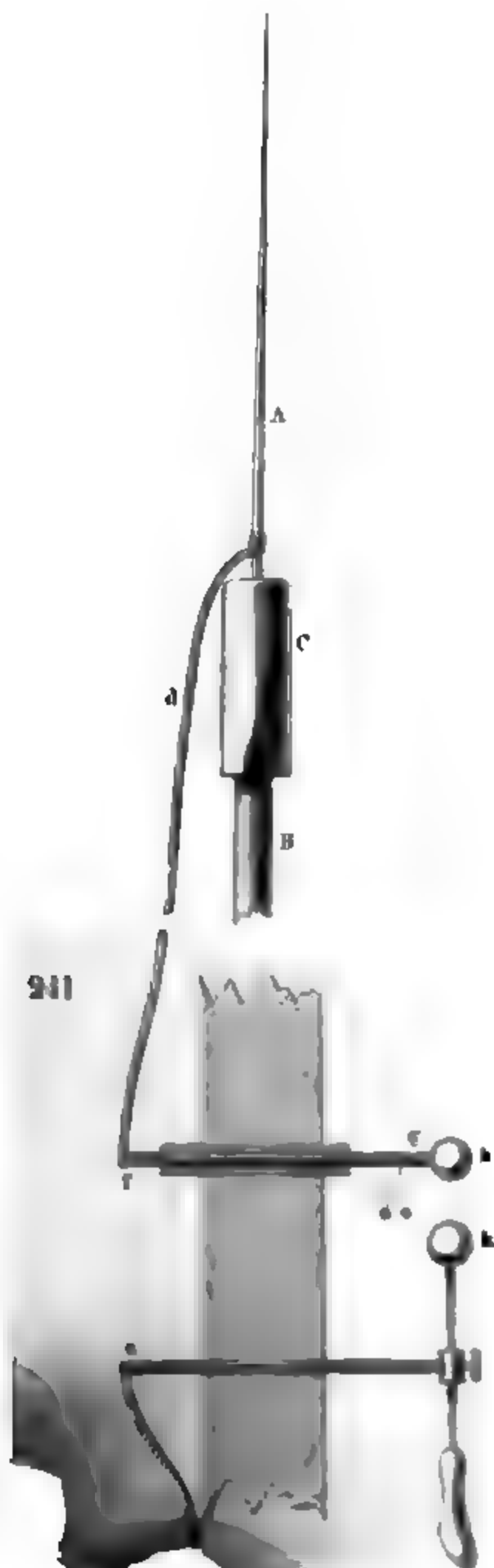
Durch diese Versuche war nun die Identität des Blitzes und der elektrischen Funken vollständig nachgewiesen; sie wurden vielfach, zumal in höchst unvorsichtiger Weise wiederholt, indem man zum Annehmen der atmosphärischen Elektrizität theils den elektrischen Draht oder, weil seine Anwendung doch mit mannigfachen Schwierigkeiten und Umständlichkeiten verbunden ist, eiserne Spitzen auf isolirenden hölzernen Stangen befestigt anwandte, von denen man die Elektrizität nach isolirte Leitungsdrähte bis zum Beobachtungsorte führte.

Im grossartigsten Maassstabe führte Crosse zu Broomfield bei Taunton einen solchen Sammelapparat aus. Auf einigen der höchsten Bäume des Parkes wurden Stangen befestigt, welche die wohl isolirten oberen Enden der Leitungsdrähte trugen; alle diese Leitungsdrähte liefen auf die Spitze eines in dem Boden befestigten Mastes zusammen, von wo ebenfalls wohl isolirter starker Kupferdraht in das Beobachtungszimmer hineingeleitet war, der in einem grossen, gut isolirten messingernen Conductor endete; diesem Conductor gegenüber stand ein Funkenheber, welcher zu einem benachbarten Teiche abgeleitet war und dessen messingene Kugel mittelst einer Schraube dem ersten Conductor nach Belieben näher oder ferner gebracht werden konnte. Durch einen mit einem hölzernen Handgriffe versehenen Hebel konnte man die Elektrizität schon innerhalb des Beobachtungsraumes in den Boden ableiten, wenn die Entladungen zu stark wurden oder wenn überhaupt die Beobachtungen eingestellt werden sollten.

Solche feste Sammelapparate lassen sich nun auch in kleinerem Maassstabe und mit geringeren Kosten ausführen. Fig. 335 (a. f. S.) zeigt eine solche Vorrichtung dar; eine eiserne oder messingene, oben gespitzte Stange *A* von 2 bis 3 Fuss Länge ist auf dem oberen Ende einer 20 bis 30 Fuss hohen hölzernen Stange *B* angebracht, welche selbst auf dem höchsten Gipfel des Beobachtungsgebäudes befestigt ist. Es ist gut, wenn das Gebäude, auf welchem man die Saugspitzen aufrichtet, möglichst frei steht oder wenigstens etwas über die benachbarten Häuser hervorragt. Damit die Saugspitze *A* durch die Stange *B* gehörig isolirt sei, ist dieselbe mit einem Hut *C* von Kupferblech oder von Guttapercha versehen, welcher ungefähr 3 Zoll im Durchmesser halten und Fuss lang sein mag; durch diesen Hut wird das obere Ende der Stange selbst bei Regenwetter trocken erhalten.

Von der Saugspitze *A* ist nun ein Kupferdraht *d* (am besten ein mit Guttapercha überzogener) herabgeleitet und an einem messingernen Plättchen *fg* (Fig. 335) befestigt, welches, in eine isolirende Glasröhre eingekittet, die von oben herabkommende Elektrizität durch die Wand des Beobachtungszimmers hindurch zu der ungefähr zweizölligen Kugel *h*

Fig. 335.



führt. Der besseren Isolirung kann auch die Glasröhre wenig an ihrem äusseren Ende durch Kappe von Guttapercha verschlossen sein. Dieser Kugel *A* gegenüber, welche hier die Rolle des ersten Conductors spielt, befindet sich eine messingene Kugel *k*, welche als Lenzieher dienend zum Boden geleitet ist, wie man in der Figur sehen kann. Diese zweite Kugel kann belieben höher oder tiefer gestellt, so ihr Abstand von *A* regulirt werden. Um den Apparat ausser Wirkung zu setzen, hat man nur zwischen *A* und *k* auf irgend eine zweckmässige Weise eine leitende Verbindung zustellen.

Wenn die Luftpolektricität einen gewissen Grad von Stärke erhalten hat, so divergiren die bei *g* angebrachten elektrischen Pendel; wird sie stärker, so schlagen zwischen *A* und *k* Funken über, und man kann dann an der Kugel *A* eine Leuchtflasche oder eine ganze Batterie an den Conductor der Elektrisirmaschine anschliessen.

Beobachtung schwacher Luftpolektricität. Es ist in den vorigen Paragraphen nur von der Elektricität der Gewitterwolken die Rede gewesen, welche man an dem Conductor der Sammelapparate während eines Gewitters beobachtet. Wenn man aber mit dem Sammelapparat hinlänglich empfindliche Elektroden in Verbindung, so zeigen diese immer, selbst bei ganz heiterem Wetter, bald mehr bald weniger elektrische Ladungen.

Volta wandte zur Messung atmosphärischen Elektricität das

truirte Strohhalmelektrometer an, welches zwar weniger sch als das Goldblattelektrometer, aber mit einem Gradbogen mehr für Messungen geeignet ist.

l die Ladung eines solchen Elektrometers so stark, dass die ber 30° divergiren, so strömt die Elektrizität leicht aus; zur stärkerer Elektrizität ist deshalb ein zweites ähnlich construir-rometer nöthig, dessen Pendel statt aus Strohhalmen aus dün- stäbchen bestehen. Volta construirte ein solches, welches Divergenz gab, während bei gleicher Ladung sein Strohhalmm-ter bis zu 5° divergirte. Eine Divergenz von 25° am Holz-ektrometer entsprach also 125 Graden des Strohhalmelektro-

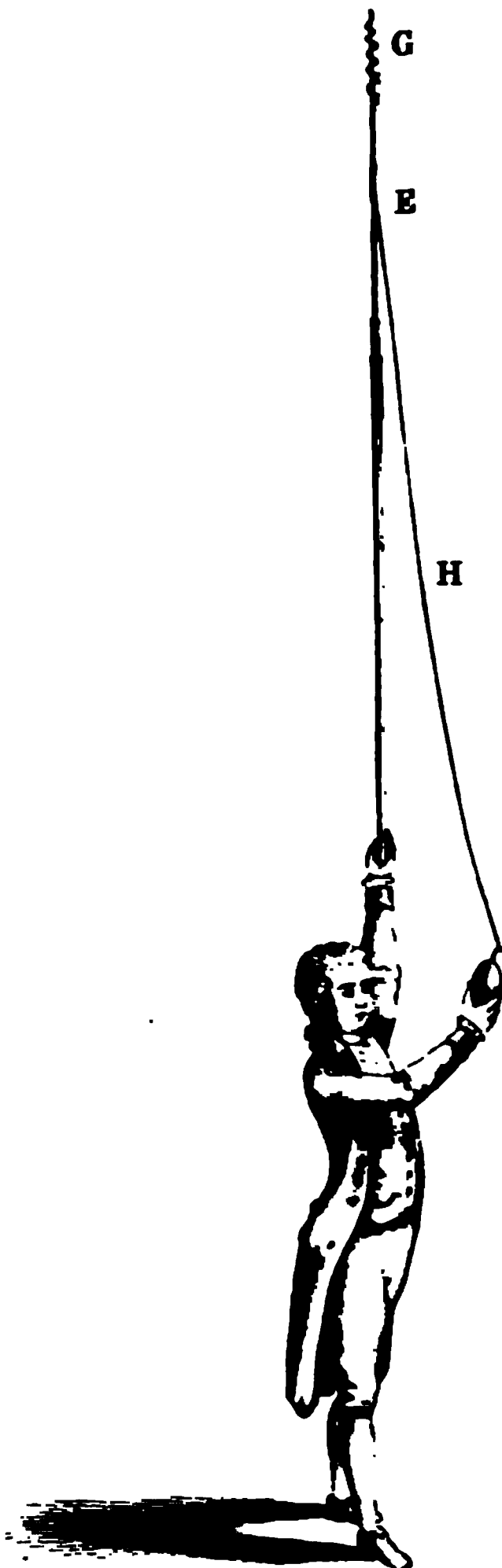
er wurden auch das Bohnenberger'sche Säulenelektroskop loulomb'sche Drehwage zur Untersuchung der Luftelektrizität et, in neuerer Zeit dient aber zu diesem Zwecke vorzugsweise mann'sche Elektrometer und einige andere nach dem Princip wage construirte Apparate. In Betreff der näheren Beschrei-er Instrumente, ihrer Anwendung und Graduierung, muss ich tsprechenden Aufsätze von Romershausen, Dellmann und verweisen, welche sich in Poggendorff's Annalen und zwar inden LXIX, Seite 71, LXXXVIII, Seite 571, LXXXVI, Seite LXIX, Seite 258, LXXXV, Seite 494, und in Lamont's „Be-g der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen In- und Apparate, München 1851,“ Seite 53, finden.

das Elektrometer unmittelbar mit der Saugvorrichtung in Ver-zu bringen, verfuhr Volta öfters auch so, dass er eine kleine ge Leidner Flasche von 10 bis 12 Quadratzoll äusserer Be-it einer Saugvorrichtung in Verbindung brachte und dann die ler kleinen Flasche an einem Elektrometer prüfte. Fig. 336 erlärnt das ganze Verfahren, welches Volta anwandte, um alein im Freien durch die Luftelektrizität zu laden. Der Be-hält dasselbe in der rechten Hand, in der Linken aber einen ck, auf welchen mittelst einer Hülse von Messingblech ein aufgesetzt wird; auf diesen Glasstab wird dann wieder eine ie Kappe aufgesetzt, in welche ein in eine Spitze auslaufender t aufgeschraubt ist. Auf das obere Ende dieses stählernen Lei- Γ wird nun mit Hülfe von dünnem Eisendraht ein Schwefel-gebunden und ferner bei E ein dünner Metalldraht H befestigt, unten mit einer Schleife endet. Das Messingstäbchen, welches Hals der Flasche gehend zur inneren Belegung führt, ist oben einer Kugel mit einem Haken versehen, welcher in jene Schleife t wird.

Flamme des an seinem obersten Ende angezündeten Schwefel-kt ganz wie feine Spitzen, sie saugt die Luftelektrizität gleich-

sam ein, welche dann durch den Draht *H* der kleinen Leidner I
zugeführt wird.

Mit der in Fig. 336 abgebildeten Saugvorrichtung lässt sich
Fig. 336.



lich das Strohhalmelektrometer
unmittelbar laden, wenn man d
statt der Flasche in der rechten
haltend, in die Schleife des I
H einhängt. Zu diesem Zweck
dann das isolirte Messingsti
an welchem die Strohhalmpend
gen, oben hakenförmig geboge

Um im Zimmer die Luftel
tät zu untersuchen, brauchte n
den Stock der eben beschri
Vorrichtung mit seiner Stal
und dem brennenden Schwel
zum geöffneten Fenster hinaus
ten und im Uebrigen zu ve
wie oben erwähnt wurde. E
ches Verfahren ist aber mühsa

Um diese Unbequemlichk
vermeiden, steckte Volta du
geöffnete Fenster eine etwa 1
lange hölzerne Stange hinaus
unteres Ende durch isolirende
gehalten wurde und an deren
Ende eine kleine Laterne vo
befestigt war, in welcher eine
Kerze brannte. Von dieser
ist dann ein Metalldraht gebö
lirt durchs Fenster herein
mit dessen unterem Ende n
Elektrometer in Verbindung
kann.

Fig. 337 zeigt eine von R
hausen construirte Vorrichtu
Aufsaugen der Luftelektricit
ist das Dach des Hauses, *F* d
ster des Beobachtungszimmer

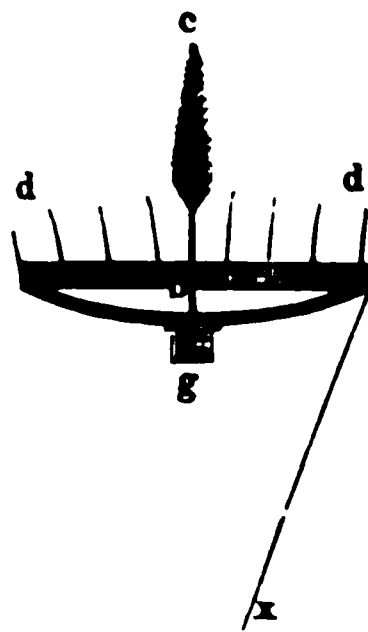
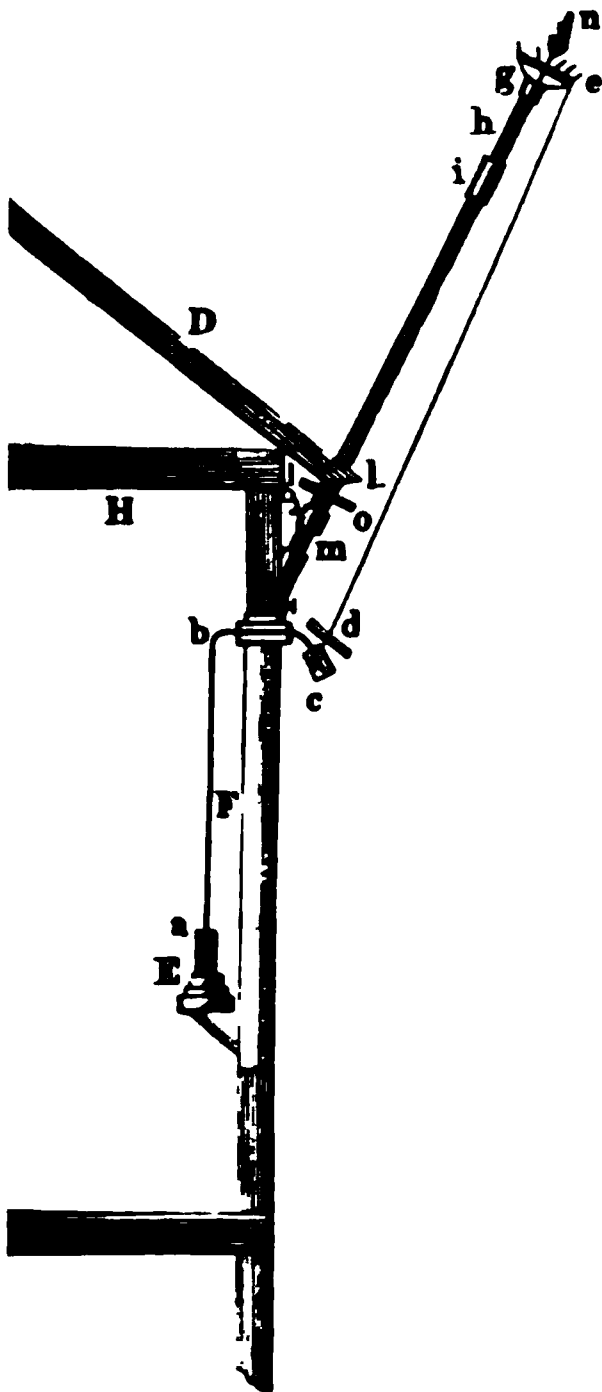
ungefähr 10 bis 12 Fuss lange Stange von lackirtem Tannenhol
unten bei *m* in einem eisernen Schuh und trägt an ihrem oberen
eine Messinghülse *i*, in welche ein mit Schellack überzogener, 1
langer Glasstab eingekittet ist. Dieser trägt dann die Saugvorrichtu

Zu mehrerer Deutlichkeit ist diese Saugvorrichtung in Fig.
größerem Maassstabe dargestellt. Im Inneren eines 5 Zoll im

er haltenden flachen Kupferringes sind die kupfernen, galvanisch
oldeten und nach oben fein zugespitzten Auffangsdrähte *dd* ange-

Fig. 337.

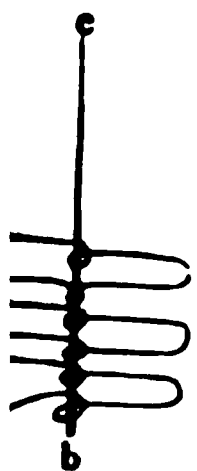
Fig. 338.



löthet. Ein im Durchmesser dieses
Ringes angebrachter Kupferbügel
trägt unterhalb die Hülse *g* zur Be-
festigung auf der Glasstange *h* und
oberhalb ist eine höhere Drahtspitze
bc eingelöthet.

Dieser oben fein zugespitzte und
vergoldete, etwa 1''' dicke Kupferdraht
ist ringsum mit feinen haarförmigen
Platinspitzen umgeben, und wird
am leichtesten auf folgende Weise
verfertigt: Die untere Hälfte des

es wird mit Zinnloth überzogen und alsdann, wie Fig. 339 ver-
eht, mit dem feinsten Platindraht umwunden und die Windungen
Fig. 339.



über einer Spirituslampe angeschmolzen; die Schleifen
werden alsdann aufgeschnitten und die Drahtspitzen zu
einem Busch geordnet, wie es die vorige Figur zeigt.

Der kupferne Leitungsdraht *de*, Fig. 337, wird
bei *e* an den Kupferring angelöthet; bei *d* erhält der-
selbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen
abführt (ein gleiches ist bei *o* an der Stange angebracht).
Bei *c* wird der von oben kommende Leitungsdraht mit
dem in das Zimmer führenden am bequemsten mit einer
Klemmschraube verbunden; bei *b* geht dieser letztere
Draht durch eine Glasröhre, in welche er mit Schellack
nisset ist, vermöge deren er gehörig isolirt durch ein Loch des
Strahmens in das Zimmer eintritt. Der Draht *ba* geht dann her-
dem seitwärts vom Fenster aufgestellten und vor der unmittel-
Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützten Elektrometer *E*.

Nehmen wir nun an, dass die Luft über der Spitze des Saugapparates wirklich elektrisch sei, so wird ihre Elektricität vertheilend auf das ganze isolirte System wirken, dessen unteres Ende durch die Pendel des Elektrometers gebildet wird; die ungleichnamige Elektricität wird in die Spitze gezogen und strömt hier aus, die gleichnamige wird in das Pendel hinabgetrieben, das Elektrometer wird also mit derselben Elektricität geladen, welche in der Luft vorhanden ist.

Anders verhält es sich bei den neueren Beobachtungsmethoden, welche Lamont, Dellmann, Peltier und Quetelet anwenden. Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, dass eine isolirte Kugel an einem erhabenen Ort aufgestellt und daselbst für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird; dabei nimmt die Kugel eine Elektricität an, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, mit welcher sie sich unter sonst gleichen Umständen nach der obigen Methode das Elektrometer geladen haben würde. Ist nämlich die Luft elektrisch, so wird sie durch Vertheilung die ihr entgegengesetzte Elektricität in die Kugel ziehen, welche mit dieser Elektricität geladen bleibt, wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt.

Bei Lamont bildet die fragliche Kugel das obere Ende des Elektrometers. Behufs einer Beobachtung trägt er das Elektrometer auf das flache Dach der Sternwarte, berührt auf kurze Zeit mit dem Finger die Kugel oder noch besser die metallene Röhre, auf welcher sie sitzt, und trägt dann das Elektrometer wieder in das Zimmer herab, wo die Ablesung derselben vorgenommen wird.

Dellmann lässt das Elektrometer stets im Zimmer stehen. Die bis 6 Zoll im Durchmesser haltende Ladungskugel *n*, Fig. 341, wird von einem Metallstäbchen getragen, welches in einem Fuss von Schellack befestigt ist. Eine Kautschukplatte bildet die Basis dieses Fusses, welche mit einem Kautschukring umgeben in die obere Hälfte der messingenen ungefähr 10 Zoll langen Hülse *l* eingesetzt wird, wie Fig. 340 in größerem Maassstabe zeigt.

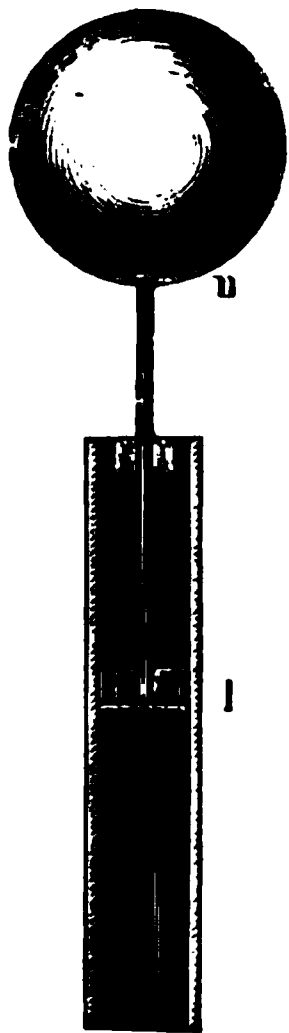
Am oberen Ende dieser Hülse wird das Stäbchen durch eine gleichfalls mit einem Kautschukringe umgebene Schellackplatte gehalten.

An der Giebelwand, des Gebäudes, in welchem sich das Beobachtungszimmer befindet, sind in 2 Meter Abstand von einander zwei eiserne Stangen *a* und *b*, Fig. 340, eingelassen, welche ungefähr 1 Fuss von der Wand entfernt Ringe tragen, durch welche die 22 Fuss lange Stange von Tannenholz hindurchgeht. Auf diese Stange wird nun von dem Fenster des Giebels aus die Hülse *l* mit der Sammelkugel aufgesetzt, dann die Stange mittelst eines um eine Rolle geschlungenen Seils gezogen, bis der eiserne Schuh *d*, auf welchem die Stange *s* aufsitzt, den Ring bei *a* anstösst. In dieser Stellung befestigt, ragt nun die Sammelkugel weit über den Giebel des Hauses hinweg. Um sie für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung zu bringen, ist an der Stange ein metallener Hebel angebracht, von welchem ein Messingdraht her-

Anziehen desselben wird der metallene Hebel so weit gegen Messingbacken *k* die Kugel *n* berührt. Nachdem die

11.

Fig 340.



Berührung kurze Zeit gedauert hat und die Kugel geladen ist, lässt man den Draht *h* wieder los, der Hebel fällt durch sein eigenes Gewicht in seine vorige Stellung zurück und nun wird die Stange wieder niedergelassen, die Hülse mit der Sammelkugel abgehoben und in das Zimmer zurückgebracht. Hier wird sie nun neben dem Elektrometer auf den Tisch gestellt, mit demselben durch einen ungefähr 1''' dicken und 1' langen sorgfältig isolirten Messingdraht in Verbindung gebracht und endlich der Ausschlag des Elektrometers abgelesen.

Atmosphärische Elektrizität an verschiedenen Localitäten. 242

Wenn man nach irgend einer der im vorigen Paragraphen angegebenen Methoden verfährt, so erhält man fast immer mehr oder weniger starke elektrische Ladungen, vorausgesetzt, dass sich keinerlei feste Körper gerade über den Saugspitzen oder der Sammelkugel befinden. In einem Zimmer, unter dem höchsten Gewölbe, im Inneren eines Waldes oder überhaupt unter Bäumen wird man nie eine Spur von Elektrizität finden. Ist aber das Zenith wirklich frei, so zeigt sich unter sonst gleichen Umständen die atmosphärische Elektrizität um so stärker, je weniger hohe Gegenstände sich neben den Saugspitzen oder den Ladungskugeln erheben; in der Ebene, auf freiem Felde erhält man also stärkere Ladungen als in der Sohle eines tiefen Thales oder auf der Strasse zwischen Häusern.

Deshalb die Sammelapparate so aufzustellen, dass sie möglichst hoch liegen und dass sich in ihrer Nähe keine höheren Gegenstände befinden.

Die Intensität der Luftelektrizität nimmt zu mit der Erhebung in der Höhe. Wenn man das Strohhalmelektrometer unmittelbar mit einer Kugel in Verbindung bringt, an derselben einen brennenden Schwefelfaden be-

festigt, und dann den Apparat mit der einen Hand in die Luft hebt, so wird die Divergenz der Pendel nur halb so gross, als wenn man den Versuch in der Fig. 336 angedeuteten Weise anstellt. Es rührt dies daher, dass sich im letzteren Falle die Spitze mit dem Schwefelbalm höher über dem Boden befindet als im ersteren. Je länger der in der Hand gehaltene Stab ist, welcher die Spitze trägt, desto stärker fällt die Ladung des Elektrometers oder der kleinen Leidner Flasche aus.

Schübler fand dies auch an einem freistehenden Thurme bestätigt, 30 Fuss über dem Boden und 5 Fuss von der Mauer weggehalten, zeigt das Elektrometer eine Divergenz von 15 Graden, während auf dem höchsten freien Punkte des Thurmes 180 Fuss über der Erdoberfläche die Divergenz auf 64° stieg; ferner fand er dies Gesetz auf einer Reise durch die Alpen bestätigt. Auf den Gipfeln hoher Bergspitzen und auf einzelnen isolirten schroffen Felsspitzen zeigte sich die Lufterlektricität weit intensiver, als man sie unter sonst gleichen Umständen in ebenen Gegenden beobachtet.

Während der Luftfahrt, welche Biot und Gay-Lussac am 24. August 1804 unternahmen, machten sie neben anderen physikalischen Beobachtungen auch einige Versuche über Lufterlektricität in den höheren Regionen. Sie liessen einen 240 Fuss langen unten mit einer Metallkugel beschwerten Metalldraht isolirt aus der Gondel herab und fanden, dass er an seinem oberen Ende mit — E geladen sei, deren Intensität bei fernerm Steigen zunahm (Gilbert's Annalen Bd. XX, S. 15), und somit bestätigen auch diese Versuche den oben ausgesprochenen Satz.

243 Die Lufterlektricität bei verschiedenem Zustande des Himmels. Bei heiterem unbewölktem Himmel ist die Lufterlektricität stets positiv; d. h. ein mit einem Saugapparat in Verbindung gebrachtes Elektrometer, wie es z. B. Volta anwandte, wird bei heiterem Himmel stets mit positiver Elektricität geladen, während man nach den Methoden von Dellmann und Lamont eine negative Ladung erhält.

Bei heiterem Wetter brachte die Lufterlektricität an dem von Schübler in Stuttgart angewandten Strohhalmelektrometer ungefähr eine Divergenz von 12 Graden hervor.

Sehr stark ist die Lufterlektricität bei Nebeln, und zwar ist sie während derselben bis auf wenige Ausnahmen positiv, wie bei heiterem Himmel. Nach den Beobachtungen von Schübler bewirkt die positive Elektricität bei Nebeln im Durchschnitt eine Divergenz von 22.7° seines Elektrometers, sie ist also nahe doppelt so gross, als bei heiterem Himmel. Im Allgemeinen wächst die Stärke der atmosphärischen Elektricität mit der Dichtigkeit der Nebel.

Auch der Niederschlag des Thaues ist stets von einer starken Elektricität begleitet.

Fast alle atmosphärischen Niederschläge, wie Regen, Schnee, Hagel, zeigen sich bald mehr bald weniger elektrisch, und zwar ist ihre Elek-

ität in der Regel weit stärker als die, welche man bei heiterem Himmel sieht. Es zeigt sich hier auch nicht mehr bloss positive Elektrizität, sondern abwechselnd positive und negative. So fand Schübler während zwölf Monaten das meteorische Wasser 71mal positiv und 69mal negativ; der Schnee war jedoch hierbei 24mal positiv und nur 6mal negativ.

Am schwächsten zeigt sich die Elektrizität des Regens, wenn er anhaltend und gleichmässig in kleinen Tröpfchen niederfällt.

Periodische Veränderungen der atmosphärischen Elektrizität. 244 Wie der Druck, die Wärme und der Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre fortwährenden Schwankungen unterliegen, so auch die Luftelektrizität, und zwar ist auch hier eine Periodicität nicht zu verkennen, wenn man die Mittelzahlen betrachtet, welche sich aus längere Zeit fortgesetzten Beobachtungsreihen ergeben.

Der tägliche Gang der Luftelektrizität bei heiterem Wetter wird von Schübler in folgender Weise beschrieben: Bei Sonnenaufgang ist die atmosphärische Elektrizität schwach; sie fängt, so wie sich die Sonne über den Horizont erhebt, langsam zu steigen an, während sich ähnlich gleichzeitig die in den tieferen Luftschichten schwebenden Dünste vermehren. Gewöhnlich steigt die Elektrizität unter diesen Umständen im Sommer bis gegen 6 und 7 Uhr, im Frühling und Herbst gegen 8 und 9 Uhr, im Winter bis gegen 10 und 11 Uhr; die Elektrizität erreicht um diese Zeit ihr Maximum. Gleichzeitig sind die unteren Luftschichten oft sehr dunstig, der Thaupunkt liegt höher als bei Sonnenaufgang; in kälterer Jahreszeit tritt oft wirklicher Nebel ein.

Die Elektrizität bleibt gewöhnlich nur kurze Zeit auf diesem Maximum stehen; sie vermindert sich wieder, während die dem Auge etwa sichtbaren Dünste in den unteren Luftschichten verschwinden. Einige Stunden vor Sonnenuntergang, im Sommer gegen 4 bis 5 und 6 Uhr, im Winter gegen 3 Uhr, erreicht die atmosphärische Elektrizität wieder ihr Minimum, in welchem sie etwas länger verharret als im Maximum.

Mit Sonnenuntergang nimmt die Luftelektrizität wieder rasch zu, während sich gleichzeitig die Dünste in den unteren Schichten der Atmosphäre wieder vermehren, und erreicht $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum.

Ueberhaupt ist die positive Elektrizität in den unteren Luftschichten um so stärker, in je grösserer Menge sich Wasserdünste dem Auge sichtbar niederschlagen; am stärksten ist sie daher in der kalten Jahreszeit, wo Dünste und Nebel oft lange die unteren Luftschichten füllen, am schwächsten in den heisseren Sommermonaten, wo weit seltener der Fall ist, und wo die unteren Luftschichten gewöhnlich eine grössere Klarheit und Durchsichtigkeit besitzen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate zweijähriger Beobachtungen, welche Schübler bei heiterem oder nur wenig bewölktem

Himmel anstellte. Er sammelte die Elektricität in einer kleinen L. Flasche und maass dieselbe an einem mit einem Condensator vers. Strohhalmelektrometer.

In den Monaten:	Mittlere Stärke der Elektricität.				Mi St
	1tes Min. kurz vor ☉Aufgang.	1tes Max. einige Stun- den nach ☉Aufgang.	2tes Min. einige Stun- den vor ☉Unter- gang.	2tes Max. einige Stun- den nach ☉Unter- gang.	
Januar . .	14,7	33,0	19,1	51,8	2
Februar . .	7,5	25,5	16,3	24,5	1
März . . .	5,3	13,0	6,4	14,0	1
April . . .	4,0	14,7	4,7	7,6	1
Mai	4,1	13,0	4,3	10,3	1
Juni	4,6	12,8	3,9	12,0	1
Juli	4,8	13,5	4,5	14,4	1
August . .	5,8	15,9	5,4	16,1	10
September .	5,5	15,4	5,0	15,6	10
October . .	7,2	15,3	6,3	19,7	12
November .	5,5	14,4	8,2	17,4	11
December .	12,4	18,8	12,8	20,7	10
Mittel . . .	6,9	16,9	8,1	17,0	11

Durch lebhafte Winde, welche eine periodische Ansammlung Dünsten verhindern, werden die täglichen Perioden der Luftelektri sehr verwischt.

Die Elektricität der Wolken und der aus ihnen erfolgenden w rigen Niederschläge zeigt einen merkwürdigen Gegensatz zur Elektri der unteren Luftschichten.

Der Regen ist nämlich in den Sommermonaten ungle stärker elektrisch, als in der kälteren Jahreszeit. Die Elek cität des Regens im Monat Juli ist im Durchschnitt nahe 10mal so als die Elektricität der Niederschläge im Januar.

Diese Resultate, welche Schübler und andere ältere Physiker ihren Beobachtungen gezogen haben, werden in ihren wesentlichen ten auch durch die neueren Beobachtungen bestätigt, von denen sehr wünschen ist, dass sie nicht allein an den Orten fortgesetzt werden. welchen sie bereits begonnen wurden, sondern dass auch nach dem

Plane mit vergleichbaren Instrumenten auch an anderen Orten fortwährende Beobachtungen über diesen für die Meteorologie so wichtigen Gegenstand angestellt werden.

Elektrische Erscheinungen auf der Cheopspyramide. 245

Im CLX. Bande von Poggendorff's Annalen beschreibt Siemens gewöhnlich starke elektrische Erscheinungen, welche er auf der Cheopspyramide bei Cairo während des Wehens des Chamsin beobachtet hat.

Am 14. April 1859 verliess er Morgens früh Cairo bei heiterem Himmel; nur eine leichte blassrothe Färbung am südwestlichen Horizont beruhigte seinen Eseltreiber. Als die Gesellschaft gegen 10 Uhr Morgen den Gipfel der Pyramide erreicht hatte, war die Trübung des südlichen Horizonts in eine fast bis zum Zenith ausgedehnte farblose Nebelung übergegangen. Der aufgewirbelte Wüstenstaub, welcher die Luft bereits mit einem undurchsichtigen gelben Schleier bedeckte, stieg allmählig höher und höher an der Pyramide empor. Als er auch die obersten Stufen derselben erreicht hatte, vernahm man ein sausendes Geräusch. Als Siemens auf den höchsten Punkt der Pyramide stieg und Zeigefinger in die Höhe hielt, liess sich ein eigenthümlich zischender Ton hören, wobei ein leises Prickeln der dem Winde entgegengesetzten Oberfläche des Fingers bemerkbar wurde.

Als Siemens weiter eine gefüllte Weinflasche, deren Kopf mit Stannum bekleidet war, emporhielt, hörte er denselben singenden Ton, wie bei der Aufhebung des Fingers. Während dessen sprangen von der Spitze fortwährend Funken zu der die Flasche haltenden Hand über, als Siemens den Kopf der Flasche mit der anderen Hand berührte, empfand er eine kräftige elektrische Erschütterung, während ein glänzend elektrischer Funke vom Kopf der Flasche in die ihn berührende Hand überging.

Offenbar bildete die Flüssigkeit in der Flasche, welche durch den Kork mit der Metallbelegung des Flaschenkopfes in leitender Verbindung stand, die innere Belegung einer Leydner Flasche, während die Hand die abgeleitete äussere vertraten. Als die äussere Belegung der Flasche durch Umwicklung derselben mit angefeuchtetem Papier vervollständigt worden war, gab sie bei einer Schlagweite von 12 Zoll so kräftige Schläge, dass ein Araber, welcher Siemens' Hand erreichte hatte, wie vom Blitze getroffen zu Boden fiel, als Siemens die Hand der Nase des Arabers genähert hatte. Mit lautem Geheul sprang er alsbald wieder auf, um mit mächtigen Sprüngen zu entfliehen.

Als sich Siemens auf einen aus Flaschen improvisirten Isolirtisch von der Steinmasse der Pyramide isolirte, hörte das sausende Geräusch beim Emporheben des ausgestreckten Fingers nach kurzer Zeit auf.

Er konnte jetzt seinen Gefährten durch Näherung der Hand Funken theilen und empfand eine gelinde Erschütterung, als er den Boden berührte. Die Art der Elektrizität zu bestimmen ist nicht gelungen.

Die beschriebenen Erscheinungen waren nur an der Spitze der Pyramide wahrnehmbar. Schon einige Stufen tiefer waren sie zu schwach und in der Ebene waren gar keine elektrischen Erscheinungen mehr zu entdecken, obgleich der Wind in ungeschwächter Weise fortblies.

Siemens erklärt die Erscheinung in folgender Weise:

„Da die elektrischen Erscheinungen erst dann bemerkbar wurden, als der Wüstenstaub die Spitze der Pyramide erreichte, so muss er auch als der Träger und wahrscheinlich auch als die Ursache der Elektricität betrachtet werden. Nimmt man an, dass die vom Winde gepeitschten Staubtheilchen und Sandkörnchen durch die Reibung mit der trocknen Oberfläche des Bodens elektrisch geworden waren, so musste jedes elektrische Körnchen eine Belegung eines Ansammlungsapparates bilden, dessen andere der Erdkörper selbst war, während die zwischen beiden befindliche Luft das die Belegungen trennende isolirende Medium vertrat. Durch die aufsteigende Bewegung der Sandkörnchen ward nun die isolirende Schicht verstärkt, die Schlagweite aller der kleinen geladenen Flaschen musste mithin zunehmen und in einer Höhe von etwa 500 Fuß über dem Boden beträchtlich grösser sein, als in seiner unmittelbaren Nähe. Der Elektricität der gewaltigen elektrisirten Staubwolke, welche über dem Erdboden lagerte, stand eine gleich grosse Quantität entgegengesetzter Elektricität der Erdoberfläche gegenüber. Die leitende Pyramide musste nun einen sehr bedeutend verdichtenden Einfluss auf die Elektricität der Erdoberfläche ausüben, da sie als kolossale Spitze zu betrachten ist. Es kann daher nicht überraschen, dass der elektrische Unterschied zwischen dem auf dem Gipfel befindlichen höchsten und tiefsten Spitzen, wie dem aufgehobenen Finger oder Flaschenkopf, und den Staubkörnchen so gross war, dass zahllose kleinere Funken zwischen ihnen übersprangen, während in der Ebene gar keine Elektricität wahrzunehmen war.“

246 Quelle der Luftelektricität. Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität sind die Gelehrten noch nicht einig.

Längere Zeit hindurch fand Pouillet's Meinung, dass durch Verdampfung und Vegetation Elektricität erzeugt werde und dass hier die Quelle der Luftelektricität zu suchen sei, viele Anhänger. Reich hat zwar die Versuche bestätigt, welche Pouillet angestellt hatte, zu zeigen, dass bei Verdampfung von Salzlösungen Elektricität entwickelt werde, allein er zeigte, dass sich Pouillet über die Quelle dieser Elektricität getäuscht habe, dass nicht die Verdampfung, sondern die Reibung der sich vertheilenden Flüssigkeit gegen die Tiegelwand die Ursache der Elektricitätsentwicklung sei. Ueberhaupt erhält man jene elektrischen Ladungen nur dann, wenn die Flüssigkeit siedet. Bei allmählicher Verdampfung kochte Wasser zu eine Spur von Elektricität nachzuweisen, und ebenso kochte Rectif. durch Verdampfung unter dem Sieb konnte nicht die allgeringste Elektricitätsentwicklung entdecken.

Alle Versuche, welche Reich anstellte, um eine etwaige Elektricitätsentwicklung durch Condensation von Wasserdämpfen zu entdecken, gaben negative Resultate.

Riess wiederholte auch Pouillet's Versuche über die Elektricitätsentwicklung durch den Vegetationsprocess; er fand zwar Spuren von Elektricität, aber bald war dieselbe positiv, bald negativ, und die Controlversuche, die in gleicher Weise mit unbesäeter Erde angestellt wurden, machen es höchst wahrscheinlich, dass jene Spuren nicht der Vegetation herrühren.

Kurz aus allen Versuchen von Riess und Reich geht hervor, dass die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetationsprocess Ursache der Luftelektricität seien, durchaus nicht experimentell begründet ist. (Siehe meinen Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik. Braunschweig 1849. Seite 14.)

So war denn der einzige Anhaltspunkt, den man zur Erklärung der atmosphärischen Elektricität glaubte gewonnen zu haben, wieder ver-

Eine ganz neue Ansicht über den Ursprung der Elektricität, welche in diesem Capitel besprochenen Erscheinungen bewirkt, hat der jüngere Peltier zuerst in einem Briefe an Quetelet ausgesprochen, und diese Ansicht stimmt auch Lamont bei, welcher sie in seinem schon erwähnten Aufsatze ungefähr in folgender Weise entwickelt:

Die Erde besitzt eine gewisse Menge negativer Elektricität, welche sich gleichbleibt, deren Vertheilung aber veränderlich ist. Diese Elektricität nennt Lamont die permanente Elektricität der Erde, zum Unterschied von der inducirten, die in jedem isolirten Körper, er mag permanent elektrisch sein oder nicht, durch einen geeigneten elektrischen Körper hervorgerufen wird. Die Atmosphäre, die reine Luft, hat gar keine Elektricität; sie ist unfähig, Elektricität zu leiten oder zu behalten.

Wäre die Erde eine Kugel mit vollkommen glatter, gleichförmiger Oberfläche, so würden alle Punkte dieser Oberfläche gleich starke elektrische Spannungen zeigen. Diese Gleichheit wird aber durch zwei Umstände gestört, durch die Erhöhungen auf der Erdoberfläche und durch Dünste, welche in der Atmosphäre schweben.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass das elektrische Fluidum sich stetsweise in Spitzen und Kanten ansammelt, und dadurch erklärt es sich denn leicht, dass auf Hausdächern, Kirchthürmen, Bergspitzen etc. Elektricität in grösserer Menge angehäuft ist, dass überhaupt die Ladung der Sammelapparate um so stärker wird, je höher man sie über den Meeresspiegel erhebt.

Die zweite der oben erwähnten Ursachen, welche eine ungleiche Vertheilung der Elektricität auf der Erdoberfläche zur Folge haben, ist die in der Atmosphäre befindliche Wasserdampf, und zwar haben wir hier zweierlei Fälle zu unterscheiden. Entweder ist die Dunstmasse

mit der Erde in Berührung oder sie ist isolirt. Im ersten tritt dasselbe Verhältniss ein, wie auf einem Berge; die Elektricität lässt denjenigen Theil der Erdoberfläche, der mit der Dunst-Berührung steht, und begiebt sich auf die Oberfläche der Erde. Im zweiten Falle muss man in Betracht ziehen, dass jeder Körper Elektricität in unbestimmten Mengen enthält, die bei Annäherung an anderen elektrischen Körper nach den bekannten Gesetzen fließen und so kommt es, dass isolirt in der Luft schwebende Wolken die von der Erde ausgehende vertheilende Wirkung bald positiv, bald negativ elektrisch werden.

Durch diese Hypothese finden nun alle oben beschriebenen Erscheinungen an Elektrometern eine ebenso einfache und leicht verständliche Erklärung, wie durch die Annahme, dass die Luft elektrisch sei.

Auf ein mit der Spitze versehenes Elektrometer wirkt bei bedecktem Himmel die negative Erdelektricität in der Weise, dass die positive Elektricität des isolirten Systems in die Pendelfeder gezogen, die negative aber in die Spitze getrieben wird, wo sie strömt.

In eine Kugel, welche, wie bei der Lamont'schen und Dell'schen Methode mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht, muss natürlich negative Elektricität einströmen.

Nimmt man die Beobachtung bei bedecktem Himmel nach anhaltendem Regen vor, wo die Luft mit Dünsten gesättigt ist, und Wolken mit der Erde in leitender Verbindung stehen, so zeigt das Elektrometer gar keine Spannung an. In diesem Falle hat sich die Elektricität an die obere Gränze der Wolken hinaufgezogen und das Elektrometer befindet sich im Inneren des elektrisirten Körpers, wo es ebenso wenig wie in einem Zimmer eine elektrische Spannung wahrnehmen kann.

Wenn isolirt von dem Boden elektrische Wolken in der Luft schweben, so werden sie vertheilend auf die Erdoberfläche zurückwirken. Eine negativ elektrische Wolke schwächt die permanente Elektricität der Erdoberfläche, und kann, wenn sie stark genug geladen ist, sogar die Anhäufung positiver Elektricität an denjenigen Orten der Erdoberfläche bewirken, über welchen sie gerade schwebt. Eine positiv elektrische Wolke dagegen wird durch Vertheilung die permanente negative Erdelektricität verstärken.

So ist denn jedenfalls in der Lamont'schen Hypothese die Elektricität eine Basis zur rationellen Erklärung der in diesem Abschnitt besprochenen elektrischen Erscheinungen gegeben, und es ist nun zu erwarten, ob weitere Forschungen in diesem Gebiete diese Hypothese bestätigen oder nicht.

Elektricität der Gewitterwolken. Wenn man die Elektricität untersucht, welche sich während eines Gewitters in dem ersten

tor *h* des Apparates Fig. 335 Seite 686 oder eines ähnlichen ansammelt und zum Funkenzieher überspringt, so findet man, dass es bald positive, bald negative Elektrizität ist, dass also die Gewitterwolken bald positiver, bald mit negativer Elektrizität geladen sind. Crosse beschreibt die Beobachtungen und Versuche, welche er an seinem Apparat während des Verlaufs von Gewittern angestellt hat, ungefähr in folgender Weise:

Wenn sich eine Gewitterwolke den Saugspitzen des Sammelapparates nähert, so divergiren die am ersten Conductor aufgehängten Hollnusspendel entweder mit positiver oder mit negativer Elektrizität;

wenn die Gränze der Wolke vertical über den Saugspitzen angelangt so schlagen langsam Funken zwischen dem ersten Conductor und dem Funkenzieher über. Nach einiger Zeit, während welcher etwa 9 bis 10 Funken in der Minute überschlagen, folgt eine kurze Pause, auf welche das Ueberschlagen der Funken von Neuem beginnt, aber nun mit entgegengesetzter Elektrizität, so dass, wenn Anfangs negative Elektrizität aus dem ersten Conductor hervorbrach, nun eine Reihe positiver Entladungen folgt, was anzeigt, dass zwei entgegengesetzte elektrische Zonen

in der Wolke über den Beobachtungsort hinweggezogen sind. Auf das erste folgt ein zweites Zonenpaar, welches schon ein häufigeres Ueberschlagen von Funken bewirkt als das erste. So dauert dann der Wechsel der Elektrizitäten eine Zeitlang fort, indem jeder Uebergang in die entgegengesetzte Elektrizität durch eine kurze Pause markirt wird; aber rascher schlagen die Funken über, bis sie endlich einen regelmäßigen Feuerstrom bilden, wenn die Mitte der Gewitterwolke im Zustande

steht und das Gewitter in seiner vollen Heftigkeit wüthet. Crosse fand während eines Gewitters mit dem ersten Conductor seiner Vorrichtung eine elektrische Batterie von 75 Quadratfuss innerer Belegung. Voller Ladung konnte mit dieser Batterie ein 30 Fuss langer Eisenstift von $\frac{1}{270}$ Zoll Durchmesser geschmolzen werden. Um die Batterie zu schonen, näherte Crosse eine mit der äusseren Belegung in Verbindung stehende Messingkugel der Kugel der inneren Belegung so weit,

als eine Selbstentladung erfolgte, wenn die Batterie ungefähr $\frac{3}{4}$ ihrer vollen Ladung enthielt. Unter diesen Umständen fand ein fast kontinuierlicher Strom von Entladungen Statt, wenn gerade die Mitte der Gewitterwolke über dem Beobachtungslocale hinzog.

Der Wechsel der Elektrizitäten dauert fort, während die zweite Hälfte der Wolke vorüberzieht; allmähig aber nimmt die Intensität ab, wie vorher zugenommen hatte.

Eine Gewitterwolke ist also nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach derselben Elektrizität geladen, sondern sie besteht aus Zonen, welche wechselnd mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladen sind, und zwar ist diese Ladung für die Mitte der Wolke am stärksten und nimmt dann den Gränzen hin ab.

248 Die Blitzableiter. Franklin's praktischer Geist wandte bald seine an elektrischen Drachen gemachten Erfahrungen auf die Construction der Blitzableiter an. Im Wesentlichen bestehen dieselben aus einer zugespitzten Metallstange, welche in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

1. die Stange muss in eine feine Spitze zulaufen;
2. die Verbindung mit dem Boden muss vollkommen leitend sein; von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zertheilt; diejenige Elektricität wird abgestossen, welche mit der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten, die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann; auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der oben genannten Bedingungen nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden sei unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, dass eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, dass sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann; man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne dem Gebäude zu schaden.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er breitet sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben so Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher nahe Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Spiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entging, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er untersucht hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokol

techer der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die af.

chdem wir angegeben haben, welche Bedingungen erfüllt sein, wenn ein Blitzableiter wirksam sein soll, und welche Gefahren entspringen, wenn man sie vernachlässigt, bleibt noch Einiges praktische Ausführung der Blitzableiter zu sagen übrig. Gay- hat unter den Auspicien der Akademie der Wissenschaften eine e Instruction über diesen Gegenstand verfasst. Nach dieser soll ze des Blitzableiters die Fig. 342 dargestellte Einrichtung haben.

42. Auf einer 8,6 Meter langen Eisenstange ist ein 0,6 Meter langer, etwas konischer Messingstab eingeschraubt und dann noch mit einem Querstift befestigt. Oben ist in diesem Messingstab eine Platinnadel von 0,05 Meter Länge mit Silber eingelöthet und die Verbindungsstelle mit einer Hülle von Messing umgeben.

In Deutschland macht man gewöhnlich auch die Spitze der Blitzableiter von Eisen, vergoldet sie oben, um zu verhindern, dass sie rostet und dadurch abgestumpft wird.

Die Stange des Blitzableiters, welche in verschiedener Weise auf dem Gebäude befestigt werden kann, muss nun mit dem feuchten Boden durch eine metallische Leitung verbunden werden. Es dienen dazu gewöhnlich eiserne Stangen oder starke Kupferdrähte. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zur Tiefe bohren kann, in welcher sich beständig Wasser findet, so reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man sie in mehrere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt man die Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, welche man dann mit Holzkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vortheil, dass auf diese Weise das Eisen besser vor Rost geschützt wird und dass es mit einem guten Leiter, der Kohle, in Berührung ist.

Wenn man kein Wasser in der Nähe hat, muss man die Stange wenigstens durch einen langen Canal, der mit Kohlen ausgefüllt wird, an einen feuchten Ort leiten. Der grösseren Sicherheit wegen kann man die Leitstange auch noch in Seitencanäle verzweigen.

Wirksamkeit des Blitzableiters ist jedoch noch an einige andere ngen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen anden überragt wird, so kann die Elektrizität der Wolke auf rker wirken als auf den Blitzableiter, der Blitzableiter kann sie ht vor den Blitzschlag schützen; ebenso wenn bedeutende Metall- etwa eiserne Stangen oder eine metallische Dachbedeckung, sich Nähe des Blitzableiters befinden, ohne mit denselben in leitender

Verbindung zu sein. Wenn solche Metallmassen vorhanden sind, man sie möglichst gut in leitende Verbindung mit dem Blitz

Fig. 343.

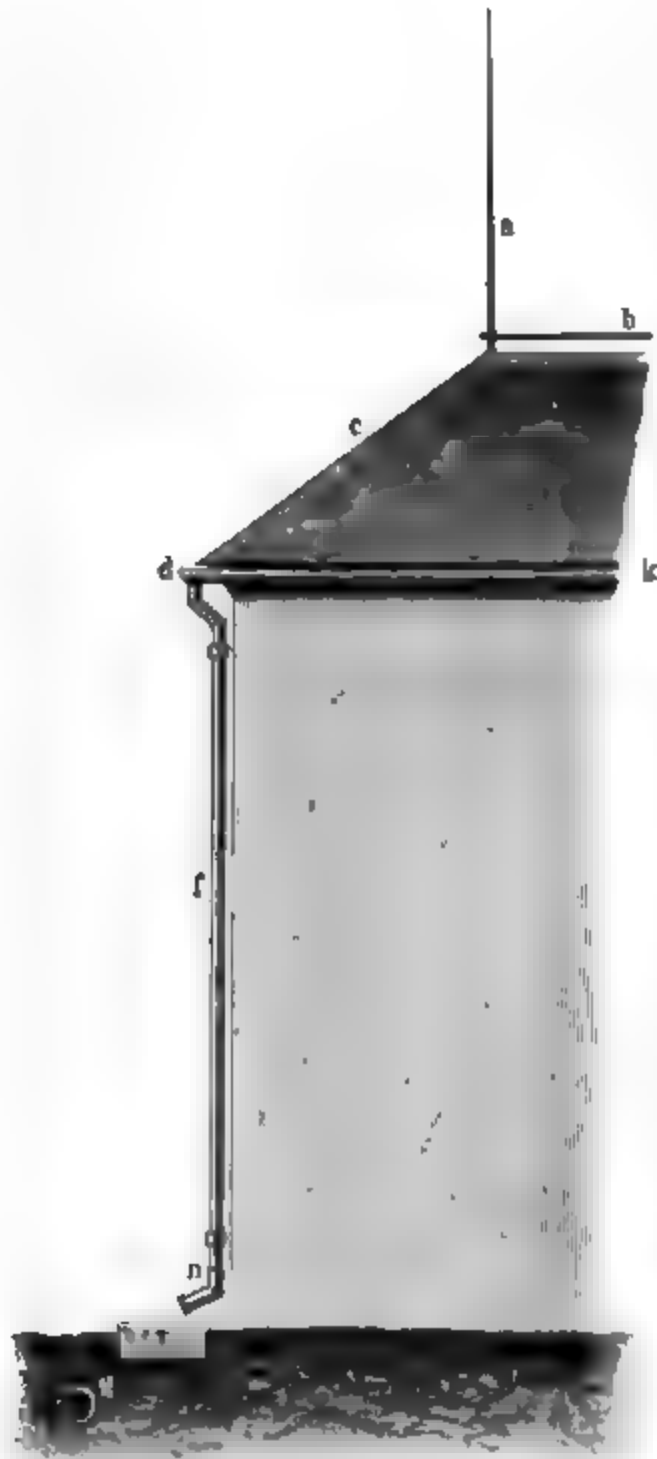


Fig. 344.



rings um das Haus laufenden Dachrinne, von welcher in unserer Fig. 343 ein Stück *kk* dargestellt ist. Um diese Dachrinne ist die leitende Verbindung in einem Abstand von ungefähr 1 Fuss geführt. Von der Dachrinne gehen in allem acht verticale Böhr-

bringen, damit die angelegte Elektricität ungehindert die Spitze ausströmen kann. Ist demnach gefährlich, die steile Dachbedeckung mit Blitzableiter zu isoliren, wie einige Praktiker vorgeschrieben haben.

Wie nachtheilig es ist, wenn man massen in der Nähe des ableiters isolirt zu lassen, aus folgendem Beispiel.

Am Abend des 26. Juli 1877 traf ein heftiges Gewitter Freiburg, im Verlauf des Blitzes ein grosses, doppeltes, isolirt stehendes Haus, welches mit einem ableiter versehen ist. Es mag dazu dienen, die Verhältnisse verständlich zu machen. An jedem Ende der Dachrinne steht eine Auffangstange, von denen in unserer Fig. 343 eine, *a*, dargestellt ist. Ein Stück der horizontalen Leitung, welche die beiden Auffangstangen verbindet. In der Mitte der Leitungstange steht dann die Ableitung in gleicher Weise bis zu hinlänglicher Tiefe in den Boden herab. Die Dachrinne sowie die vier

kanten des Daches, von denen unser Fig. 344 nur eine, *c*, zeigt, sind mit Streifen Zinkblech gedeckt, welche mit den Auffangstangen in leitender Verbindung stehen. Dies ist aber nicht der Fall bei

blech herab, von denen in unserer Figur nur die eine, *f*, nahe am östlichen Eck des Hauses angebracht zu sehen ist. Dieses Röhrensystem bildet eine Metallmasse von ziemlich bedeutender Oberfläche, welche, wie get, mit dem Blitzableiter nicht leitend verbunden war, wie es doch sein sollen. Durch die vertheilende Wirkung der Gewitterwolken setzte eine namhafte Anhäufung der von ihnen angezogenen Elektrizität den oberen Parthien der Röhrenleitung stattfinden, welche eine Entladung bei *d* herbeiführte. Der Blitz folgte nun der verticalen Röhre *f*, welche bis zu dem untersten Stück, welches nicht angelöthet, sondern angesteckt war, unversehrt blieb. Das untere Ende von *f*, welches das Kniestück *n* einfach eingesteckt war, wurde aber gewaltsam nach unten umgebogen, wie man in *f*, Fig. 345, sieht, während das obere

Fig. 345.



Ende des Kniestückes *n* zerrissen und durchlöchert wurde, wie *n* in Fig. 345 zeigt. Von der Mündung des Kniestückes *n*, Fig. 343, schlug Blitz über den Rinnstein *r*, den er zerriss, zu der ganz nahe beim Rinnstein vorbeilaufenden, ungefähr 2 Zoll dicken Gasleitungsröhre *g* über, welche an zwei, etwas über 1 Fuss von einander entfernten Stellen zerrissen wurde, wie Fig. 344 erläutert.

Um eine im Boden liegende metallene Röhrenleitung, welche in der Nähe der Bodenleitung eines Blitzableiters vorbeiläuft, vor Blitzschlägen zu schützen, ist nichts besser, als sie mit dieser Bodenleitung in möglichst gut leitende Verbindung zu bringen.

Die Erfahrung zeigt, dass ein mit allen Vorsichtsmaassregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 20 Metern Radius schützt.

Galvanische Prüfung der Blitzableiter. Da bei einem Blitzableiter nothwendig von der Spitze bis zum Boden eine vollkommene metallische Leitung stattfinden muss, so ist es wichtig, sich auf eine einfache Weise davon überzeugen zu können, dass diese Bedingung wirklich erfüllt ist; ein zweckmassiges Mittel zu einer solchen Prüfung ist uns nun der galvanische Strom. Befestigt man an der Spitze des Blitzableiters einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht, welcher bis

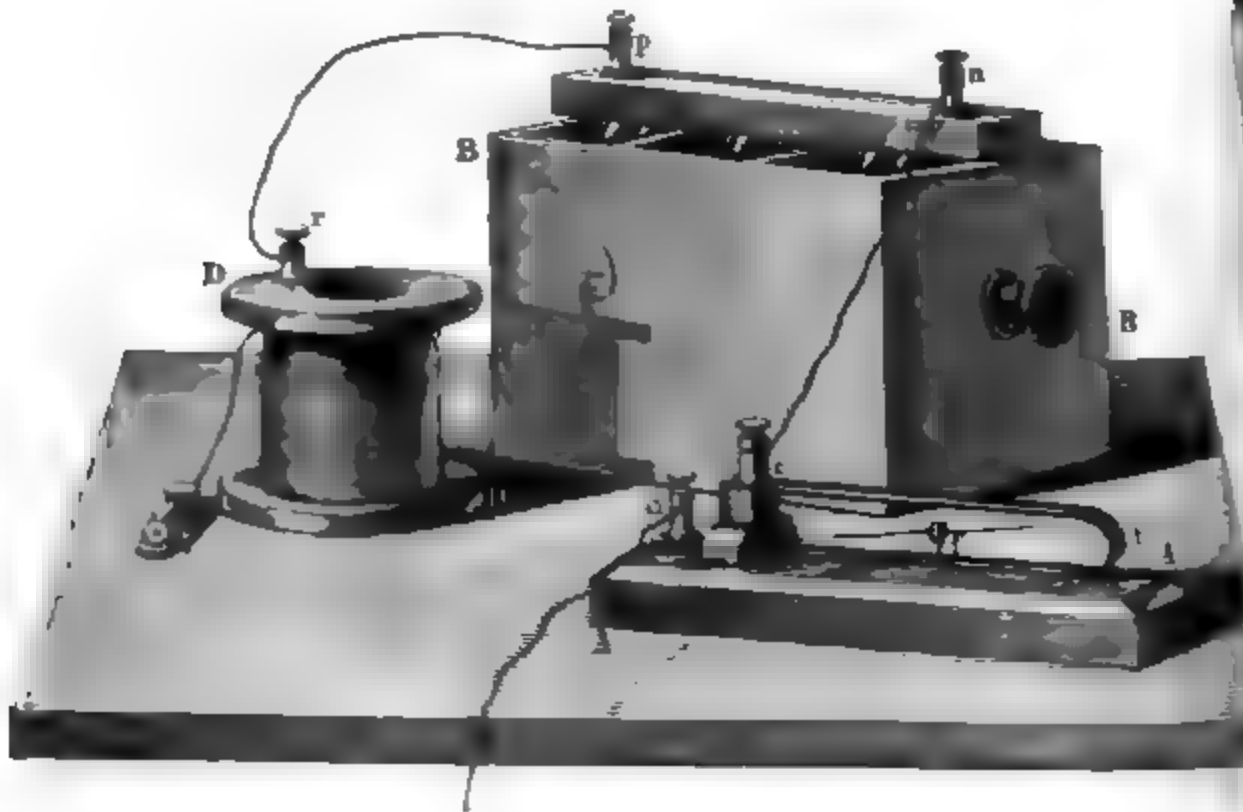
zum Boden herunter reicht; verbindet man dann sein unteres Ende mit dem einen Pol eines einfachen galvanischen Plattenpaares, während von anderen Pole desselben ein Leitungsdraht zum unteren Ende des Blitzableiters führt, so muss ein galvanischer Strom die ganze Kette durchlaufen, welchen man erkennt, wenn man ein Galvanometer in dem Schliessungsbogen einschaltet.

Zur galvanischen Prüfung eines Blitzableiters gehören also.

1. ein Galvanometer,
2. eine galvanische Säule,
3. ein Leitungsdraht.

Ein gewöhnliches Galvanometer mit astatischem, an einem Commafaden hängendem Nadelpaare dürfte zu unserem Zwecke wohl zu unbrechlich sein und ausserdem ist es auch zu empfindlich: zur galvanischen Prüfung der Blitzableiter genügt eine einfache, auf einer Stahlspitze spielende Magnetnadel, um welche der Strom durch einen Kupferstreifen herumgeleitet wird. In Fig. 346 ist eine solche Vorrichtung

Fig. 346.



bei A in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse dargestellt. Auf einem Brettchen ist ein ungefähr 1 Centimeter breiter Kupferstreifen befestigt, welcher bei b so gebogen ist, dass er zwei horizontale Arme ab und bc bildet, von denen der untere etwas länger ist. Bei c sind die beiden Enden durch ein Holaklotzchen getrennt. Bei f ist auf dem unteren Arme des Kupferstreifens eine Stahlspitze eingelassen, auf welcher die Magnetnadel spielt. Bei a und e sind Klemmschrauben angebracht, in welche die Zuleitungsdrähte eingeschraubt werden.

Als Elektromotoren könnte man Bunsen'sche oder Daniell'sche anwenden; allein für solche, welche weniger mit der Handhabung der Apparate vertraut sind, ist doch eine Wollaston'sche Säule von 6 Plattenpaaren vorzuziehen, die, an einem gemeinschaftlichen Orte befestigt, in einen rechteckigen Trog *BB* eingesenkt werden können, welcher keine Scheidewände zu enthalten braucht und welcher eine Mischung von 1 Thl. Schwefelsäure auf 20 bis 30 Thle. Wasser enthält. An den beiden Polen dieser Säule sind die Klemmschrauben *p* und *n* gesetzt.

Der kupferne Leitungsdraht von 100 bis 150 Fuss Länge und $1\frac{1}{3}$ Millimeter Dicke ist mit Seide oder Wolle übersponnen und wird bequemerem Gebrauchs wegen auf eine hölzerne Spule *D* aufgewickelt, welcher sein inneres Ende befestigt und mit einer Klemmschraube *r* versehen ist. An dem anderen Ende des Drahtes ist dann gleichfalls eine Klemmschraube *s* angelöthet.

Um den Versuch anzustellen, werden die besprochenen Apparate, wie unsere Figur zeigt, auf einen Tisch zusammengestellt, welcher in der Nähe der Stelle steht, wo der Blitzableiter in den Boden eintritt. Das Galvanometer wird so gerichtet, dass die Arme *ab* und *bc* der Kupferleitung in der Ebene des magnetischen Meridians liegen, dass also die Magnetnadel mit der Längsrichtung dieser Streifen parallel ist und weder zur Linken noch zur Rechten hervorschaut. Ist das Galvanometer so aufgestellt, so wird bei *a* ein kupferner Leitungsdraht eingebracht, welcher, 8 bis 10 Fuss lang, zum unteren Ende des Blitzableiters geführt und da mehrere Male um die eiserne Stange desselben einige Male über dem Boden herumgewunden wird.

Damit zwischen den Leitungsstangen des Blitzableiters und dem herumgewundenen Kupferdraht metallische Berührung bestehe, muss man die eiserne Stange zuvor etwas anfeilen.

Nun ist der längere, auf die Holzspule aufgewundene Kupferdraht ähnlicher Weise an der Saugstange des Blitzableiters zu befestigen. Zu diesem Zwecke steigt der Dachdecker hinauf, feilt die Stange etwas an und windet um die angefeilte Stelle einen 2 bis 3 Fuss langen Kupferdraht mehrmals herum; alsdann wirft er eine Schnur herab, welche an dem freien Ende *s* des auf der Spule aufgewundenen Kupferdrahtes angeschlossen wird und vermittelt deren er dieses Drahtende in die Höhe zieht, während sich unten der Draht von der Spule abwickelt. Ist die Drahtklemme *s* oben angekommen, so befestigt der Dachdecker in derselben das freie Ende des Drahtes, welchen er um die Saugstange herumgewunden hat, während man unten die Spule mit dem Rest des Drahtes auf den Tisch stellt. Ist dies geschehen, so wird ein kurzer Leitungsdraht einerseits in die Klemmschraube *r* der Spule und anderseits in die Klemmschraube *p* eingeschraubt, welche den einen Pol der Wollaston'schen Säule bildet. Um die Kette zu schliessen, hat man jetzt nur noch übrig, zwischen den Klemmschrauben *n* der Säule und *c* des Galvano-

der längere Leitungsdraht nach und nach an verschiedene Blitzableiterleitung befestigt, um so die Strecke ausfindig auf welcher sich die Unterbrechung befindet.

250 Wirkungen der Gewitter auf elektrische Tele-

Auf die Drahtleitungen eines elektrischen Telegraphen m elektricität sowohl, wie die Elektricität der Gewitterwolken Weise wirken wie auf Blitzableiter; die telegraphischen Leitungen also unter dem angedeuteten Einflusse stets von mehr starken Strömen durchlaufen werden.

Um solche Ströme sichtbar zu machen, schaltete B einen empfindlichen Multiplicator in eine Telegraphenleitung, fand, dass die Nadel desselben fast nie zur Ruhe kommt, Leitungsdrähte unter dem Einflusse der Luftelektricität (elektrisch durchströmt sind.

Unter dem Einflusse von Gewitterwolken werden die graphendrähten circulirenden Ströme stark genug, um die zeig Apparate in Bewegung zu setzen, also Signalglocken läuten den Schreibapparat Morse'scher Apparate klappern zu m Begreiflicher Weise sind aber diese Zeichen so unregelmäßig Telegraphist alsbald ihren Ursprung erkennt. Wenn a Effecte solcher durch Gewitterwolken inducirter Ströme telegraphischen Signalen verwechselt werden können, so wirken höchsten Grade störend auf letztere ein, und können ein Telegraphiren oft geradezu unmöglich machen.

Die durch Gewitterwolken in den Telegraphendrähten i tricität kann aber unter Umständen auch eine solche Intensität

Am 19. Juni 1846 schlugen in Philadelphia zwischen dem Leitungsdrahte, welcher von Aussen in das Haus hineingeführt war und dem Drahte, welcher dazu diente, den Apparat mit der Bodenplatte leitende Verbindung zu setzen, und welcher an einer Stelle zufällig ersteren bis auf weniger als 1 Zoll genähert war, unter dem Einflusse benachbarten Gewitters lebhaft Funken über, welche endlich so stark wurden, dass der Aufseher, für die Sicherheit des Hauses besorgt, den einen Draht mit den städtischen Gasröhren in Verbindung setzte, um so die durch die Gewitterwolken inducirte Elektrizität in den Boden abzuleiten. Am 17. August 1847 pflanzte sich die Wirkung eines zu Ollmütz durchgebrochenen Gewitters bis nach Triebitz, 10 Meilen weit fort, und an letzterem Orte mit der Drahtspannung beschäftigter Arbeiter erlitten einen so starken Schlag, dass er einige Schritte zurücktaumelte.

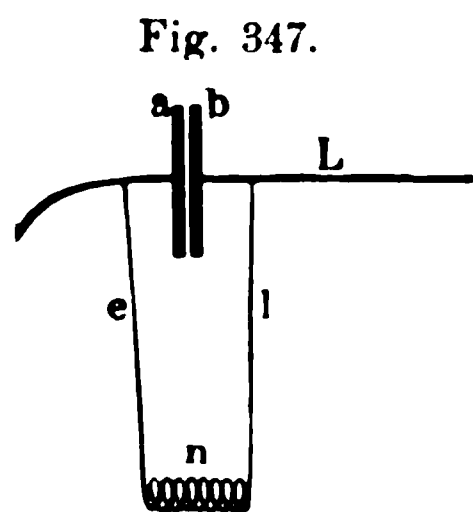
Sehr häufig werden durch den Blitz die Tragsäulen der Leitungsdrähte zersplittert, die Leitungsdrähte selbst zerrissen, und dünnere Theile der telegraphischen Apparate durch die übermächtigen Ströme geschmolzen, wodurch dann natürlich die Leitungen unterbrochen und die Apparate untauglich werden.

Eine interessante Zusammenstellung hierher gehöriger Erscheinungen findet man in der 3. Auflage von Schellen's „elektromagnetischem Telegraph“ (Braunschweig 1861) Seite 334 n. f.

Um die elektrischen Telegraphen vor den Unfällen zu schützen, welche sie von Gewittern bedroht sind, hat man besondere telegraphische Blitzableiter construirt. Steinheil, von welchem die erste telegraphische Vorrichtung herrührt, benutzte den Umstand, dass die von Gewittern inducirte Elektrizität leichter kleine Zwischenräume überspringt, als einen langen Weg dünner Drahtwindungen durchläuft, wie dies unter

anderem ja auch aus der oben mitgetheilten zu Philadelphia beobachteten Erscheinung hervorgeht.

Das Princip der Steinheil'schen Schutzapparate, welches mit mannigfachen Modificationen fast allgemeine Anwendung gefunden hat, wird durch die schematische Fig. 347 erläutert. Es sei L der von der nächsten Station kommende Leitungsdraht, E der Leitungsdraht, welcher zur Boden-



führt; der eine dieser Drähte endet mit einer Metallplatte a , der andere mit einer Metallplatte b , und diese beiden Platten sind in paralleler Stellung einander ganz nahe gegenübergestellt, ohne sich jedoch metallisch zu berühren. Bei den Steinheil'schen Blitzableitern wird die leitende Verbindung der beiden Platten durch ein zwischengelegtes Stück Seidenzeug hergestellt. — Die Leitungsdrähte E und L sind durch die Drahtbogen e und l mit dem zeichengebenden Apparat n in leitende Verbindung gebracht.

Während nun der Strom einer galvanischen Batterie, welcher der benachbarten Station kommt, den Zwischenraum zwischen den

Fig. 348.

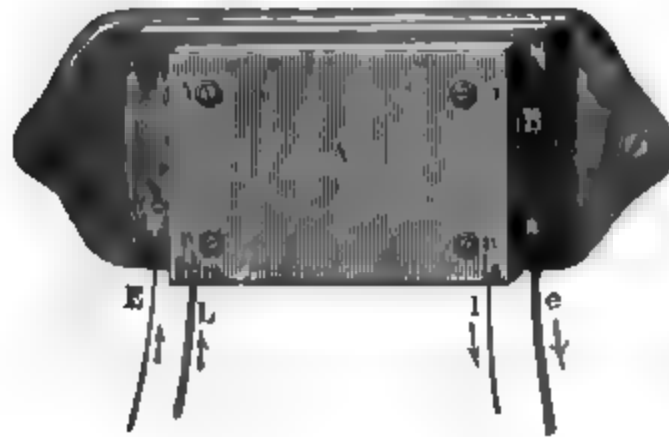


Fig. 349.



ten a und b nicht überspannen kann, sondern die Windung des zeichengebenden Apparates massig durchläuft, springt und kehrt die durch Gewitterinduktion erzeugte Elektricität zwischen den Platten a und b über, ohne zu den Windungen des zeichengebenden Apparates zu gelangen.

In Fig. 348 sind die Miner'schen Blitzplatten ungefähr in $\frac{1}{10}$ der natürlichen Größe in perspectivischer Ansicht dargestellt. Fig. 349 sind sie im Grundriss dargestellt. Der Abstand der beiden Messingplatten A und B , die Berührung durch vier dünne Fenbeinplättchen verhindert

beträgt nahezu $0,3\text{ mm}$. Die ganze Vorrichtung ist an der Wand des Magnetographenbureaus befestigt. Die Zuleitungsdrähte L , E , l und e der Fig. 348 entsprechen den gleich bezeichneten Drähten der schematischen Fig. 347.

- 231 **Geographische Verbreitung der Gewitter.** Obgleich dieser Beziehung das Beobachtungsmaterial noch sehr mangelhaft unterliegt es doch keinem Zweifel, dass die Gewitter in der heissen Zone im Allgemeinen nicht allein heftiger, sondern auch häufiger sind als in der gemässigten, wie man dies auch aus folgender Tabelle ersieht, welche nach dem in Arago's Abhandlung zusammengetragenen Material zusammengestellt ist.

htungsort.	Durchschnitts- zahl der Ge- witter in einem Jahre.	Zahl der Beobachtungs- jahre.	Kleinste Zahl der in einem Jahre.	Grösste Gewitter
g (Java) . . .	159	17		
.	60	1		
ro	50,7	6	38	77
ie	39			
n	38	1		
pe	37			
.	27	16		
yres	22,6	7		
.	19	1		
.	18,4	15	11	30
.	17,5	4		
g	17	20	6	21
.	16,2	11	8	27
.	14	9		
.	13,8	51	6	25
.	13,5	29	5	17
.	11	3	7	18
g	9,2	11		
.	8,5	13	5	13
.	5,8	6	3	14
.	3,5	2	3	4

vollständigere Tabelle dieser Art findet man in Klein's „Ge-
az 1871.

ockholm giebt es durchschnittlich 9, zu Bergen 6 Gewitter

ch nun gerade innerhalb der Tropen und in der Nähe der
ie im Allgemeinen die Gewitter häufiger sind, so findet man
e Länder, in welchen die Gewitter selten sind, wie Aegypten,
e ganz fehlen, wie in Unter-Peru. Die Bewohner von Lima
ler Donner noch Blitz.

die gemässigte Zone hinaus werden die Gewitter immer selte-
r man sich den Polen nähert. Auf seinen zahlreichen Reisen
olarmeeren beobachtete Scoresby über dem 65° n. B. hinaus
d Donner und Blitz, und über dem 75° n. B. hinaus ist dieses
noch nie wahrgenommen worden.

Was die Vertheilung der Gewitter auf die verschiedenen Jahreszeiten betrifft, so finden sie in der heissen Zone vorzugsweise zu Anfang und zu Ende der Regenzeit Statt.

Im westlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller Gewitter auf den Sommer, $\frac{1}{10}$ auf den Winter. In Deutschland und der Schweiz sind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, die Wintergewitter aber seltener; noch weiter im Inneren von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Westküste von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchschnitt 6 Gewitter stattfinden, kommen dagegen 2 bis 3 auf den Winter und nur 1 bis 2 auf den Sommer. Auch an den Westküsten von Nordamerika und an den Ostküsten des Adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend.

252 Aeusserer Charakter der Gewitterwolken. Der Bildung der Gewitter geht meist eine ungewöhnliche Schwüle voran. In der mit Wasserdämpfen gesättigten Atmosphäre beginnen sich einzelne Wolken zu bilden, welche rasch an Umfang und Dichtigkeit zunehmen und dem äusseren Ansehen sie schon als Gewitterwolken verkündigt. Von der Ferne gesehen erscheinen sie als dunkle, schwarzgraue Wolkenmassen, welche, auf dem Horizonte aufliegend, an ihrer oberen Gränze in eine Masse aufgethürmter Haufwolken übergehen, welche, noch von der Sonne beschienen, durch ihre blendende Weisse nur um so mehr gegen die Dunkelheit der tieferen Wolkenschichten contrastiren. In diesen aufgethürmten Wolkenmassen bemerkt man gewissermaassen ein gewaltiges Aufschwellen, eine rasche Formveränderung der kugeligen Wolkengipfel, während die ganze Wolkenmasse doch nur langsam vorrückt.

Allmählig nähert sich die Gewitterwolke mehr dem Zenith, und wir sehen nur noch die untere Seite derselben, welche vielfach zerrissen erscheint. Die herabhängenden Wolkenfetzen sind in fortwährender unregelmässiger Bewegung und zeigen oft eine eigenthümliche blaugraue Färbung, welche man als Vorboten von Hagel betrachtet. Eben so sieht man unter der grossen Gewitterwolke oft einzelne isolirte Wölkchen in unregelmässiger Bewegung nach verschiedenen Richtungen hinziehen.

Was die Höhe der Gewitterwolken über der Erdoberfläche betrifft, so ist diese in gebirgigen Gegenden am leichtesten zu bestimmen. Die höhere Berge häufig in die Region der Gewitterwolken hinein-, ja über dieselbe hinausragen, so dass man sich auf dem Gipfel der Berge im vollen Sonnenschein befindet und den reinen blauen Himmel über sich hat, während Gewitterwolken mit Blitz und Donner die Thäler bedecken. In der Ebene lässt sich die Höhe der Gewitterwolken ermitteln, wenn man die Winkelhöhe der Stelle misst, an welcher ein Blitz erscheint, und dann die Zeit beobachtet, welche zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verstreicht.

Aus solchen Beobachtungen hat man ermittelt, dass sich die Gewitterwolken oft bis zu einer Höhe von 700 bis 1000 Fuss herabheben.

während die mittlere Höhe derselben 3000 bis 4000 Fuss zu sein scheint. Auch in sehr grossen Höhen finden Gewitter Statt, denn es fehlt nicht an Berichten, dass Reisende auf den Gipfeln der höchsten Berge Gewitter über sich beobachtet haben; so Saussure auf dem Cöl Géant in einer Höhe von 10 500 und Bouguer auf dem Pichincha in einer Höhe von 14 600 Fuss.

Der Blitz und das Wetterleuchten. Ein Gewitter kommt **253** Ausbruch, wenn sich Wolken, welche einen hinlänglichen Grad elektrischer Ladung erreicht haben, in der Nähe anderer Wolken oder irdischer Gegenstände befinden, gegen welche sie sich entladen können.

Jede solche Entladung ist von einer Lichtentwicklung, dem Blitz (Licht), und von einer Lufterschütterung begleitet, von welcher der Donner herrührt. Ein Blitz, welcher einen Körper der Erdoberfläche trifft, wird als Blitzschlag (foudre) bezeichnet.

Arago unterscheidet drei Arten von Blitzen. Die Blitze der ersten Classe sind zickzackförmig geschlängelte, schmale, scharf begränzte Lichtstreifen, welche der Form nach mit den langen Funken kräftiger Elektrisirmaschinen oder grösserer Ruhmkorff'scher Apparate die grösste Ähnlichkeit haben. Solche Blitze schlagen häufig zwischen zwei Wolken oder auch zwischen einer Wolke und einem Gegenstand auf der Erdoberfläche über, in welchem Falle man sagt, dass der Blitz eingeschlagen wurde.

Die Blitze sind oft Meilen lang, wie man am besten übersehen kann, wenn man auf einem hohen Berge unter sich ein Gewitter in der Tiefe beobachten Gelegenheit hat. In solchen Fällen sieht man auch, dass häufig Blitze aus den Gewitterwolken nach oben schlagen. Im Jahre 1700 tödtete ein von unten kommender Blitzschlag in Steyermark sieben Personen, welche sich in einer auf einem hohen Berge gelegenen Capelle befanden. Während in der Tiefe das Gewitter tobte, schien oben die Sonne hell am blauen Himmel und Niemand ahnete eine Gefahr.

Viel häufiger als die eben besprochenen sind die Blitze der zweiten Classe, deren diffuses Licht nicht auf einer schmalen gebrochenen Linie concentrirt ist, sondern über grössere Flächen ausgebreitet erscheint. Unterscheidung in Blitze der ersten und zweiten Classe ist häufig rein zufällige. Ein an und für sich linearer Blitz kann einem Beobachter als ein Blitz zweiter Classe erscheinen, wenn ihm sein directer Blick durch eine zwischengelagerte Wolke entzogen ist und er nur die durch jenen Blitz hervorgebrachte Erleuchtung wahrnehmen kann. In diesem Falle ist aber der Flächenblitz von gleich kurzer Dauer wie der Linienblitz; man hat es hier nur scheinbar mit Blitzen der zweiten Classe zu thun. Die eigentlichen Blitze zweiter Classe zeichnen sich durch etwas längere Dauer der Lichterscheinung aus. Danach ständen die Blitze erster und zweiter Classe in einer ähnlichen Beziehung zu einander, wie Funken- und Büschelentladung.

Diese Ansicht wird durch Kundt's Beobachtungen über das Spectrum der Blitze bestätigt, nach welchen das Spectrum der Linienblitze gleich dem Spectrum des Funkens der Elektrisirmaschine aus einzelnen schmalen scharf begränzten Linien besteht, während die Spectra der eigentlichen Flächenblitze, ebenso wie die Spectra der elektrischen Büschel durch breitere Lichtbänder gebildet werden.

Als Blitze der dritten Classe bezeichnet Arago Feuerkugeln von sehr verschiedenem Volumen, welche manchmal während der Gewitter die Atmosphäre mit einer verhältnissmässig so geringen Geschwindigkeit durchlaufen, dass man sie oft mehrere Secunden lang mit den Augen verfolgen kann. Ihr plötzliches Verschwinden erfolgt manchmal ohne Geräusch, manchmal aber ist es von einer Detonation begleitet, welche Aehnlichkeit mit Kanonendonner hat. Die Wirkungen, welche solche Kugelblitze auf die getroffenen Gegenstände ausüben, sind ganz die gleichen, wie die Wirkungen des gewöhnlichen Blitzschlags. Arago zählt eine grosse Anzahl solcher Feuerkugeln auf, deren elektrische Natur unzweifelhaft ist, deren Bildungsweise wir aber bis jetzt absolut nicht erklären können.

Ein interessantes Beispiel der ziemlich selten vorkommenden elektrischen Feuerkugeln bespricht Hugueny im 6ten Bande der *Mémoires de la société des sciences naturelles de Strasbourg*. Am 13. Juli 1869 zog gegen Abend von Südwesten her ein Gewitter ohne Regen heran. Um 7 Uhr 7 Minuten traf unter furchtbarem Krachen ein Blitz erster Classe einen Pappelbaum der Rheininsel bei der Kehler Schiffbrücke. Gleich darauf bewegte sich von der Gegend dieses Pappelbaumes aus in fast horizontaler Richtung eine elektrische Feuerkugel gegen einen 840 Meter entfernten in der Nähe des Zollhauses stehenden zahmen Kastanienbaum um an demselben unter Explosion zu verschwinden.

Die Feuerkugel, welche von mehreren zuverlässigen Zeugen beobachtet worden war, welche sie der Grösse nach mit einer Kanonkugel verglichen, legte den 840 Meter langen Weg von der getroffenen Pappel bis zum Kastanienbaum in 3,5 Secunden zurück. Ein Theil des Kugelblitzes, welcher den Kastanienbaum getroffen hatte, drang in Stamme herab in den Boden, zum Theil aber traf er drei Soldaten des französischen Wachtpostens, welche auf einer unter dem Baume befindlichen Bank gesessen hatten. Zwei derselben wurden durch den Schlag sogleich getödtet und der dritte schwer verletzt.

Das Wetterleuchten, welches man des Abends oder während der Nacht selbst bei ganz heiterem Himmel sieht, ohne dass man irgend ein Donnern hört, ist wohl nur der Widerschein sehr entfernter Blitze. In der Nacht vom 10. auf den 11. Juli 1783 bemerkte Saussure auf der Grimsel in der Richtung gegen Genf am Horizonte einige Wolkenstreifen in welchen er Wetterleuchten wahrnahm, ohne dass man das mindeste Geräusch hören konnte. In derselben Nacht, zu derselben Stunde wurde Genf von einem furchtbaren Gewitter heimgesucht.

Am Abend des 31. Juli 1813 beobachtete Howard zu Tottenham in der Nähe von London bei vollkommen wolkenfreiem Himmel starkes Grolle gegen Südosten hin, und erfuhr später, dass zu derselben Zeit ein heftiges Gewitter zwischen Dünkirchen und Calais, also in einer Entfernung von ungefähr 25 Meilen, stattgefunden hatte.

Dass der Widerschein eines Blitzes auf solche Entfernungen hinnehmbar sein kann, geht daraus hervor, dass, als Zach im Jahre 1781 auf dem Brocken zum Zweck von Längenbestimmungen Blitzfeuer mit 7 Unzen Pulver anzündete, man den Widerschein bis auf eine Entfernung von nahe 40 Meilen, also an Orten wahrnehmen konnte, von denen aus wegen der Krümmung der Erde der Gipfel des Brockens gar nicht mehr sichtbar sein konnte.

Der Donner entsteht ohne Zweifel durch die Vibrationen der beim Einschlagen des Blitzes gewaltsam erschütterten Luft. Blitz und Donner entstehen gleichzeitig, und wenn man den Donner später hört, als den Blitz sieht, so liegt dies nur darin, dass sich der Schall ungleichsammer fortpflanzt als das Licht.

Aus dem Zeitintervall, welches zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners vergeht, kann man auf die Entfernung des Blitzes vom Beobachtungsorte schliessen.

Der Blitz ist, in runder Zahl ausgedrückt, so vielmal 1000 Fuss vom Beobachter entfernt, als Secunden zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verstreichen.

Der Donner ist nicht auf weithin hörbar; das grösste Zeitintervall, welches man bis jetzt zwischen Blitz und Donner beobachtet hat, beträgt 10 Secunden, was auf eine Entfernung von nicht ganz 4 geographischen Meilen schliessen lässt. Dass der Donner schon in so geringer Entfernung aufhört, wahrnehmbar zu sein, ist um so auffallender, da man Kanonenschüsse viel weiter hört. Bei der Belagerung von Genua durch die Franzosen hörte man den Kanonendonner zu Livorno, in einer Entfernung von 20 Meilen.

Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet, als das Licht, da er in einer Secunde nur 340 Meter zurücklegt, so sieht man den Blitz eher, als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig gehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 400 Meter lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung der Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes 1 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nacheinander und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes

und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer da des Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den W verstärkt wird.

255 Wirkungen des Blitzschlages. Denken wir uns, da etwa positive Gewitterwolke über dem Meere oder über einem See sich so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektrizität im Wasser zurückgestossen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers gehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend sein, dass sie eine liche Erhebung des Wassers bewirkt; es wird sich eine grosse Wog Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elekt Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn die Elektrizität der Wolke allmählig verliert, ohne dass ein Entlaschlag erfolgt, so wird sich auch der neutral-elektrische Zustand Wassers allmählig wieder herstellen. 2) Wenn der Blitz zwischen Gewitterwolke und einer anderen, oder zwischen der Wolke und entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke pl entladen wird, so muss die an der Oberfläche des Wasserberges häufte Elektrizität auch rasch wieder ab-, die bisher abgestossene wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein schlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet wenn sie stark genug mit Elektrizität geladen ist, so schlägt de auf den Wasserberg über. Dieser directe Schlag bringt in der eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtichechanische Wirkung Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken an Lande.

Eine allmähige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elek bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor; es scheint jedoch, dass Störungen des elektrischen Gleichgewichts durch organische Wesen namentlich durch nervenranke Personen, empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es gie Beispiel, dass er eine Entzündung veranlasst habe, dagegen fehlt e an Beispielen, dass Menschen und Thiere durch den Rückschlag g worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus kei brochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag l Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem erschlage ausgesetzt; daher kommt es, dass so oft Thiere mitten i Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man j auf einem nichtleitenden Boden sicherer, als auf einem gutleitenden. Thiere sind schon durch Säfte, welche in ihnen circuliren.

er; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den
nen eine starke Anhäufung von Elektrizität Statt, und deshalb sagt
mit Recht, dass Bäume den Blitz anziehen; man darf daher während
s Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäu-
, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen
itz suchen.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammen-
tzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist
die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden.
n der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter,
en sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die
heilende Kraft der atmosphärischen Elektrizität wirkt auf den in die
nd eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft
nde Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel
heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die
eln umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden herausgerissen
fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zer-
tert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine
rere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte
le und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert,
am Fusse des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das
rische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr
minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Stroh-
, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung,
tens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch
mer Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark
tzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen
hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Saussure
erkte sie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeschiefer, Ra-
d auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerschiefer und auf dem
de Dome in Porphyr; endlich sahen Humboldt und Bonpland
dem Gipfel des Vulcans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr
rwei Quadratfuss hin die Oberfläche der Felsen verglast; an einigen
en fanden sie sogar Löcher, welche innen mit einer glasigen Kruste
zogen waren.

Ein interessantes Beispiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt
Withering (Phil. Transact. 1790). Am 3. September 1789 schlug
Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und
ste einen Menschen, welcher unter diesem Baume Schutz gesucht
e. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, scheint besonders den
geleitet zu haben, weil sich da, wo der Stock auf den Boden auf-
tzt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser fand.
Loch wurde alsbald von Withering untersucht, und es fanden sich

in demselben nur einige verbrannte Wurzelfasern. Der Lord Ayl wollte nun an dieser Stelle eine Pyramide mit einer Inschrift erlassen, welche davor warnen sollte, bei Gewittern unter Bäumen zu suchen. Beim Graben des Fundaments fand man den Boden in Richtung des Lochs bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geschwärzt 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spur Schmelzung. Unter Anderem fand sich ein Quarzstück, dessen Enden und Ecken vollkommen geschmolzen waren, und eine durch die Himmelsstrahlung zusammengebackene Sandmasse, in welcher sich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung so vollkommen war, dass die geschmolzene Masse an den Seiten der Höhlung heruntergeflossen war.

Endlich müssen hier noch die sogenannten Blitzröhren, *lightning rods*, erwähnt werden, welche man in den sandigen Ebenen von Phoenicien, Schlesien, von Ostpreussen, von Cumberland und in Brasilien bei Bahia, findet. Diese Röhren sind oft 8 bis 10 Meter lang.

Fig. 350.



Der äusserer Durchmesser beträgt gewöhnlich 5 Centimeter, ihr Innerer einige Millimeter; die äussere ist vollkommen verglast, die innere ist rau; sie sieht aus wie eine zusammengebackene Sandkruste; man findet sie in verticaler, bald in schräger Richtung im Sande; am unteren Ende verzweigen sie sich gewöhnlich in Fiedler, welcher über diesen Gegenstand viele interessante Bemerkungen gemacht hat (Gilbert's Annal. Bd. LV. und LXL), und dass sich in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche der Sande Wassermulden befinden, und trachtet die Blitzröhren dadurch zu stehen, dass der Blitz durch den Sand nach dem Wasser durchdringt.

Fig. 350 stellt eine sich in der Hauptäste vertheilende Blitzröhre dar, welche Conwerden bei der Ems an der Südküste 15 bis 16 Fuss hohen Sande bis zu einer Tiefe von 13 Fuss gegraben hat. Fig. 351 stellt ein Stück einer aus der Senner

stammenden Blitzröhre in natürlicher Grösse dar.

vollständige Verglasung, welche man an der inneren Wandung öhren beobachtet, ist ein Beweis, dass sie durch Schmelzung entstanden sind, also nur durch Blitzschläge erklärt werden können. Ebenfalls ist die Ansicht irrig, als seien es röhrenartige Con-
welche sich in sandigem Terrain durch herabrinnendes Wasser nachgebildet haben. Die oben angeführte Mittheilung Withe-
ann als directer Beweis für den elektrischen Ursprung der
n dienen. Noch unzweifelhafter ergibt sich aber dieser Ur-
is der folgenden Beobachtung. Am 15. Juni 1858 zwischen
2 Uhr Morgens waren einige Leute auf einem Baggerschiffe
unte bei Oldenburg beschäftigt, als sie von einem heftigen Blitz-
tobt wurden. Als bald wieder zur Besinnung gekommen, sahen
gegenüberliegenden Ufer dampfen. Sie fuhren hinüber und
an einer Stelle, deren Rasen verkohlt war, zwei mit einem
ig. 351.



Kranze weissen Sandes umgebene Löcher. Bei vorsichtigem Nachgraben führte jedes Loch zu einer Röhre, welche ihrer zarten Beschaffenheit wegen nur stückweise herausgebracht werden kann. Die ganz dünnwandigen Röhrenstücke, welche zum Theil dem Oldenburger Museum übergeben wurden, sind inwendig hübsch verglast und von aussen von anhängendem Sande rauh (Pogg. Ann. CVI, 1859). Aehnliche Beobachtungen wurden auch anderwärts gemacht; zu den interessantesten hierher gehörigen Beobachtungen dürfte wohl der folgende von Dr. Hoh (Pogg. Annal. CXXXI) mitgetheilte Fall gehören. Am 24. Juni 1867 schlug der Blitz zu Forchheim in der Nähe von Bamberg in ein Haus, in dessen unterem Stock er zwei Kinder und drei junge Hunde tödtete und einen alten Mann betäubte. In einem Zimmer des oberen Stockes legte der Blitz auf dem mit

sand bestreuten Fussboden einen Weg von zwei Fuss Länge und bildete hier eine förmliche Blitzröhre von abgeplatteter un-
iger Cylinderform, welche innen durch Schmelzung vollkommen
ssen durch zusammengebackene Sandkörner rauh erscheint.
bmesser eines 2 Zoll langen, im Besitze des Dr. Hoh befind-
liches dieser Röhre wechselt von 2 bis 6 Linien.

9. Juli 1849 entlud sich über Basel ein heftiges Gewitter, wel-
mal einschlug. Einer dieser Blitzschläge folgte dem Blitz-
ines Hauses bis in den Boden, sprang aber von da auf eine
om unteren Ende der metallischen Leitung vorübergehende
asserleitung über. Die einzelnen Röhrenstücke dieser Wasser-
aren mit Pech in einander gefügt, und gerade an diesen Stellen,

wo also die metallische Leitung unterbrochen war, wurden viele Röhrenstücke bis auf eine Entfernung von mehr als $\frac{1}{2}$ Meile durch das Überspringen des elektrischen Fluidums zersprengt. Gleich nach jenem Blitzschlage hörten deshalb auch alle Brunnen des entsprechenden Stadtkreises auf zu fließen.

Dass der Blitzschlag Menschen und Thiere tödten kann, ist bekannt; als Beispiele führe ich hier einige der Fälle an, deren erster in Arago's Abhandlung „sur le tonnère“ Seite 475 entnommen ist (Annuaire du bureau des longitudes pour 1838.)

In der Nacht vom 26. auf den 27. Juli 1759 schlug der Blitz in das Theater der Stadt Feltre ein, tödtete viele Zuschauer und verwundete fast alle übrigen.

Im Jahre 1808 schlug der Blitz in ein Wirthshaus des Flecken Kappel im Breisgau und tödtete 4 Personen.

Am 20. März 1784 schlug der Blitz in den Saal des Theaters in Mantua, wo 400 Personen versammelt waren: er tödtete 2 derselben und verwundete 10.

Am 11. Juli 1819 schlug der Blitz während des Gottesdienstes in die Kirche von Chateauf-neuf-les-Moustiers im Arrondissement von Nîmes (Departement der Niederalpen) ein, tödtete 9 Personen und verletzte deren 24 mehr oder weniger.

Am 10. Juli 1855 entlud sich Morgens zwischen 7 und 9 Uhr über der ganzen badischen Rheinebene und einem Theile des Schwarzwalds ein Gewitter, welches an weit auseinander liegenden Orten mehrere Menschen tödtete. Zu Thunsel, oberhalb Freiburg, erschlug nämlich der Blitz einen aus dem Felde heimkehrenden Ackerknecht ~~samt~~ ^{mit} seinen beiden Pferden. Im Amte Durlach suchten vier Personen unter einem 40 Fuss hohen Birnbaum Schutz gegen den Regen; ein Blitzschlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei derselben, während die beiden andern gelähmt wurden. In der Nähe von Bruchsal endlich schlug während desselben Gewitters der Blitz in eine Thorhütte, in welche sich viele Arbeiter geflüchtet hatten, verletzte mehrere und tödtete zwei derselben.

Im Ganzen ist aber doch die Summe der durch den Blitz ~~er~~ ^{er} tödteten Personen so gering, dass man solche Fälle immerhin zu den Seltenheiten zählen kann, obgleich das Einschlagen des Blitzes in Gebiete ziemlich häufig vorkommt. So schlug in der einzigen Nacht vom 14. auf den 15. April 1718 der Blitz längs der Küste der Bretagne in 24 Kirchthürme und am 11. Januar 1815 traf der Blitz in den Niederlanden 12 Thürme.

Ausgezeichnete und hohe Gebäude werden sehr häufig durch den Blitz heimgesucht.

Im Jahre 1417 schlug der Blitz in den Glockenthurm von St. Markus in Venedig und zündete das Gebälk an, welches vollständig verbrannte; das wiederhergestellte Dach wurde im Jahre 1489 durch einen Blitzschlag abermals in Asche gelegt. Die später von Stein erbauten

am Ende wurde am 23. April 1745 durch einen heftigen Blitzschlag so zerstört, dass die Reparaturen 8000 Ducaten kosteten.

Im Juli 1759 entzündete der Blitz das Dach des Strassburger Münsters, und im October des folgenden Jahres traf ein Blitzstrahl den Thurm selbst und zerschmetterte die Pfeiler, welche die sogenannte Laterne tragen, dermaassen, dass die Reparatur über 100 000 Franken kostete.

Auch der Thurm des Freiburger Münsters ist öfters vom Blitz getroffen worden; so richtete z. B. ein Blitzschlag, welcher am 28. April 1819 die herrliche Pyramide, Fig. 352, traf, so bedeutenden Schaden an,

Fig. 352.



so dass man zur Wiederherstellung derselben Werkmeister von Strassburg, Eppingen und Ettlingen kommen liess und die benachbarten Stifter beisteuerten, um die Kosten dieser Reparatur zu decken.

Am 2. Januar 1819 traf ein Blitzstrahl den Munsterthurm und ging, indem er die in der Höhe von *b*, Fig. 352, hängenden Glocken erschütterte, ohne merklichen Schaden zu thun, auf der Nordseite des Thurms an dem Draht herab, welcher zu der Signalschelle in der Wohnung des Thurmwächters fährt. Ein Knabe, welcher gerade unter dem Aufgriff dieses Drahtes sich befand, wurde getödtet.

Am 10. Januar 1843 zwischen 3 und 4 Uhr Nachmittags nahm Blitzschlag wieder fast denselben Weg, wie im Jahre 1819. Von Pyramide, an welcher nur einige Steine beschädigt wurden, trat die Schneckenstiege *ab*, Fig. 352, welche das nordöstliche Eck Thurmes bildet; die eisernen Klammern, welche hier zur besseren Verbindung der einzelnen Steine mittelst Blei eingelassen sind, bestimmten den Weg; von einer solchen Klammer zur nächsten überspringend, war ein Theil des zur Befestigung dienenden Bleies geschmolzen, mit gerissen und auf dem Zwischenraum zwischen je zwei Klammern war auf der Oberfläche des Sandsteines ein Bleiglas erzeugt, welches in Form kleiner Glaskügelchen einen fingerbreiten weissen Streifen bildete. Durch allmälige Verwitterung des Bleiglasses ist dieser Streifen jetzt wie verschwunden. Aus der Schneckenstiege nahm der Blitz abermals seinen Weg über die Glocken zu dem schon erwähnten ungefähr 1" dicken eisernen Schellendraht, welcher diesmal theilweise geschmolzen und gerissen wurde.

Im Jahre 1844 stellte Frick den Blitzableiter am Thurme her. Er war auf folgende ebenso einfache als zweckmässige Weise: Von dem metallenen Stern, welcher als Wetterfahne dienend ohnehin schon Spitze bildet, wurde ein aus 9 ungefähr $1\frac{1}{2}$ mm dicken Kupferdrähten bestehendes Drahtseil bis in den Boden herabgeführt und mit durch 5 mm dicke Kupferdrähte alle bedeutenderen Metallmassen, wie Glocken, die Eisenstangen, welche die Pyramiden halten, u. s. w., in Verbindung gebracht.

Diese Vorrichtung hat sich am 28. April 1847 trefflich bewährt, indem ein Blitzstrahl, welcher den Thurm traf, an dem erwähnten Draht bis zum Boden herabfuhr, ohne dass er auch nur die mindeste Verletzung hervorgebracht hätte.

Dagegen wurde das Drahtseil auf der ganzen Strecke von der Spitze bis zum unteren Ende der Pyramide bei *a*, Fig. 352, in mehrere große und kleinere Stücke zerbrochen, als sich am Abend des 8. April 1847 ein furchtbarer Blitzschlag auf den Münsterthurm entlud. — Auffallender Weise zeigten alle Bruchstellen des Drahtes eine schöne Goldfarbe. Bei genauerer Untersuchung ergab sich, dass der Draht in Folge des Unterschleifes des Lieferanten nicht von Kupfer, sondern von Messing war. In Folge der hohen Temperatur, bis zu welcher das Drahtseil wegen der schlechten Leitungsfähigkeit des Messings durch den Blitzschlag erwärmt worden war, war er brüchig geworden und konnte der gleichzeitigen Erschütterung zu widerstehen.

Am 18. August 1769 schlug der Blitz in einen Pulverturm in Brescia; 200 000 Pfund Pulver wurden entzündet und dadurch eine furchtbare Explosion verursacht, dass $\frac{1}{3}$ der Häuser dieser grossen schönen Stadt umgestürzt und die übrigen bedeutend beschädigt wurden. 3000 Menschen verloren bei dieser Katastrophe das Leben.

Im Jahre 1785 wurde ein Pulvermagazin zu Tanger, im Jahre 1807 zu Luxemburg und im Jahre 1808 eines im Fort St. Andrea in Venedig durch den Blitz entzündet und in die Luft gesprengt. Am 1. November 1755 schlug der Blitz in ein Pulvermagazin in Rouen, spaltete einen Balken des Daches und zersplitterte Gefässer, ohne das Pulver zu entzünden.

Seite 417, 418 und 419, sowie auf Seite 485 bis 488 der erwähnten Abhandlung führt Arago eine Reihe von Fällen an, in welchen der Blitz in Schiffe eingeschlagen hat. Aus dem Allen ergibt sich, dass endlich es ist, Schiffe sowohl wie Gebäude durch Blitzableiter geschützt zu werden.

Blitzschläge sind zu keiner Zeit gefährlicher, als in den kälteren Monaten.

So fand diese allgemein verbreitete Ansicht bestätigt, als er bei seiner Reise alle Blitzschläge notirte, welche an bestimmt bezeichneten Orten getroffen hätten, und nachher die so zusammengetragenen Fälle nach Monaten ordnete. Er nahm in diesem Verzeichniss (S. 417 der Abhandlung) nur solche Fälle auf, welche sich auf der nördlichen Hemisphäre ausserhalb der Wendekreise ereigneten.

Die Zahl der mit genügendem Datum und mit bestimmter Ortsbezeichnung versehenen auf Schiffe gefallenen Blitzschläge, welche er aufzeichnete, war im

Januar	. . . . .	5,
Februar	. . . . .	4,
März	. . . . .	1,
April	. . . . .	5,
Mai	. . . . .	0,
Juni	. . . . .	0,
Juli	. . . . .	2,
August	. . . . .	1,
September	. . . . .	2,
October	. . . . .	2,
November	. . . . .	4,
December	. . . . .	4.

Man sieht nun, dass die Gewitter im Sommer weit häufiger sind als im Winter, so unterliegt es keinem Zweifel, dass die Wintergewitter, welche meistens, weit gefährlicher sind als die Sommergewitter, damit zusammenhängen mag, dass die Gewitterwolken im Winter tiefer ziehen als im Sommer.

Die oben angeführten Blitzschläge, welche den Thurm des Münsters trafen, fanden in den Monaten Januar und April

Zweites Capitel.

D e r E r d m a g n e t i s m u s .

256 **Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen.** Man kann die Grundlehren der Mechanik vollständig darstellen, ohne dass von der Planetenbewegung die Rede ist, man kann die gesamte Electricitätslehre entwickeln, ohne dass man nöthig hätte, die Gewitter und die atmosphärische Electricität in den Kreis der Betrachtung zu ziehen.

Ganz anders verhält es sich mit dem Magnetismus. Die magnetischen Erscheinungen, welche man an Magnetstäben und Magneten beobachtet, stehen in so enger Beziehung zu dem Erdmagnetismus (die Pole der Magnete haben ja von dieser Beziehung sogar ihren Namen erhalten), dass schon in der Experimentalphysik nothwendig von demselben die Rede sein muss.

Während aber dort von dem Erdmagnetismus nur so weit die Rede sein kann, als zur Begründung der Lehre vom Magnetismus überhaupt nothwendig ist, bleibt es der kosmischen Physik vorbehalten, die magnetischen Verhältnisse der Erde einer speciellen Betrachtung zu unterwerfen.

Um die Wirkung des Erdmagnetismus an irgend einem gegebenen Orte der Erdoberfläche kennen zu lernen, muss man die Richtung und die Grösse der Kraft erforschen, mit welcher er magnetische Körper afficirt. Die Richtung der magnetischen Körper ist durch Declination und Inclination gegeben; um also die magnetische Erdkraft eines Ortes zu ermitteln, hat man nur die sogenannten magnetischen Constanten derselben, nämlich Declination (Abweichung, Missweisung), Inclination und Intensität, zu bestimmen.

Hier haben wir nun ausführlicher zu besprechen, wie die magnetischen Constanten sich mit der geographischen Lage des Beobachtungsortes ändern, und welchen Variationen die magnetische Erdkraft unterworfen ist.

he Methoden anzuwenden sind, um die magnetischen Constanten zu ermitteln, muss der Hauptsache nach schon in der Ex-physik besprochen werden, doch dürfte es zweckmässig sein, Wichtigste zu wiederholen.

Bestimmung der magnetischen Declination. Früher 257

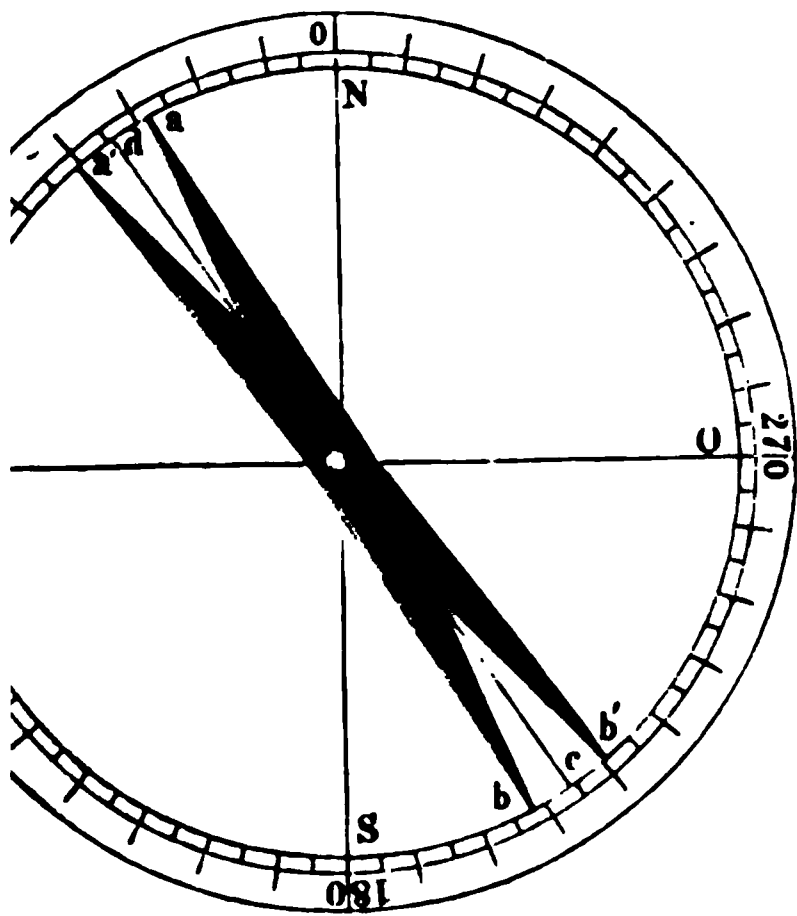
an zur Bestimmung der magnetischen Declination nur Apparate nach dem Principe der Declinationsbussolen construiert waren.

magnetische Axe der Nadel mit der geometrischen, d. h. mit Verbindungslinie der beiden Spitzen zusammenzufälle, so würde man theilten Kreise der Bussole unmittelbar die Declination ablesen vorausgesetzt, dass das Instrument so aufgestellt ist, dass die Nulllinie der Theilstriche 0 und 180 genau in den astronomischen fällt.

Allgemeinen ist aber diese Bedingung nicht erfüllt, d. h. die magnetische Axe der Nadel weicht in der Regel mehr oder weniger von der geometrischen ab. Dieser Fehler wird nun durch die Methode des Umlegens corrigirt.

Zu diesem Zwecke ist die Nadel nicht auf ihrem Hütchen befestigt,

Fig. 353.



sondern nur aufgelegt, so dass man sie abheben, umkehren (d. h. die bis dahin nach oben gerichtete Fläche nach unten wenden) und dann wieder auflegen kann. In Fig. 353 stelle z. B. ab die Lage einer horizontalen Magnetnadel dar, deren magnetische Axe in die Linie dc fällt, so ist die Gradzahl, auf welche die Spitze a der Nadel deutet, offenbar kleiner als der gesuchte Declinationswinkel. Legt man aber nun die Nadel in der angegebenen

Position, so nimmt sie jetzt die Lage $a'b'$ an, und es deutet die Spitze a' auf eine Gradzahl, welche um eben so viel zu gross ist, wie die erste zu klein war; man erhält also den wahren Werth der Declination, wenn man aus den beiden Ablesungen bei a und a' das Mittel

nimmt. Diese Methode des Umlegens muss auch noch angewandt werden, wenn die absolute Declination eines Ortes mit Hülfe von Spiegel tragenden

Magneten bestimmt (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl. Bd. II), d doch nicht wohl dahin bringen kann, dass die Ebene des Spiegel rechtwinklig zu der magnetischen Axe des Magnetstabes ist. steht sich von selbst, dass, wenn man die Methode des Umlegen wendung bringen will, der Spiegel mit dem Magneten auf ein anderliche Weise verbunden sein muss, so dass er bei dem Um umgedreht wird, mag sich nun der Spiegel am vorderen Ende d

Fig. 354.

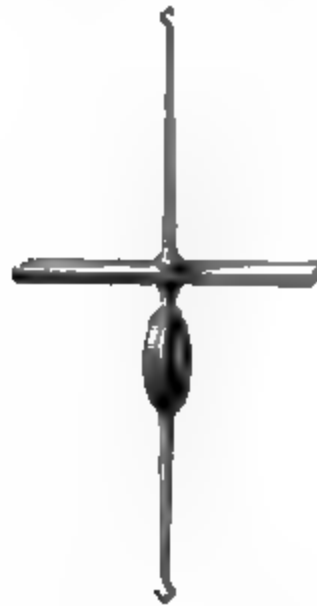
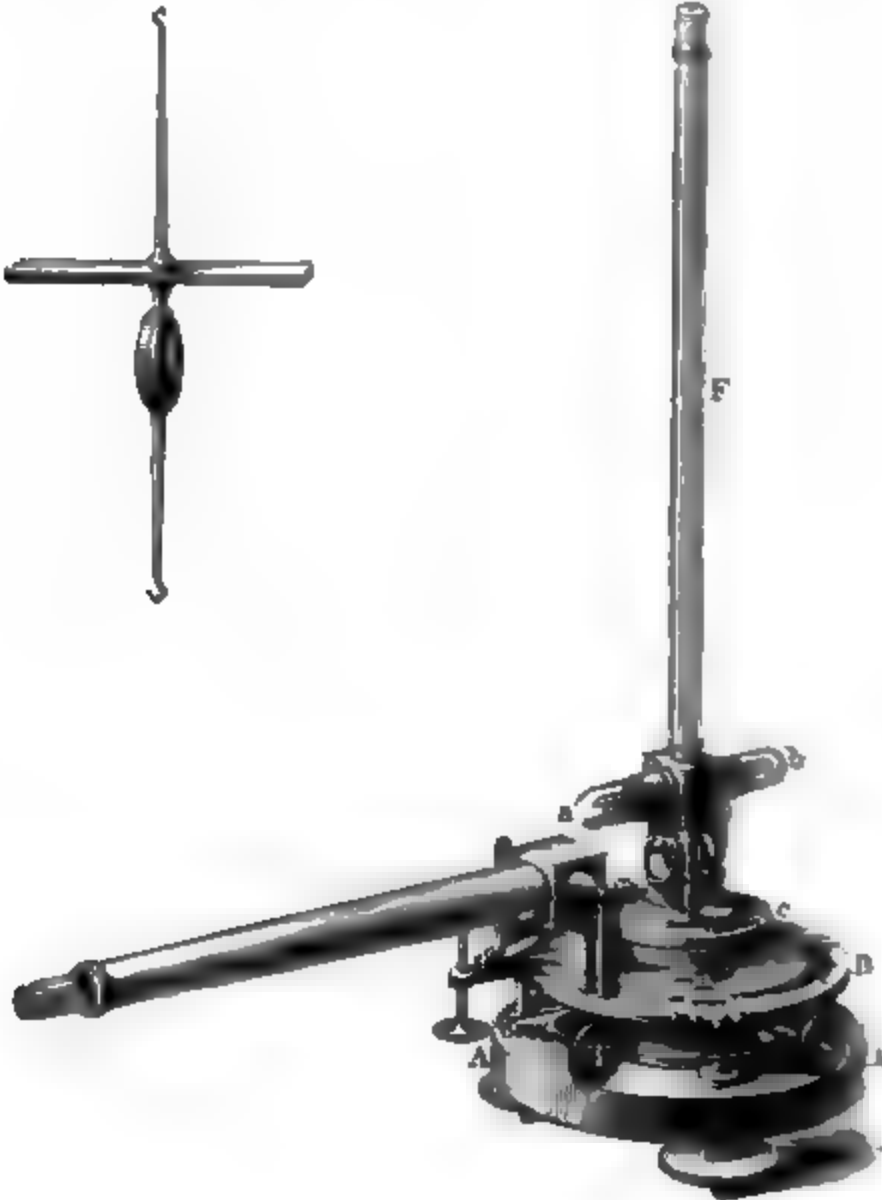


Fig. 355.



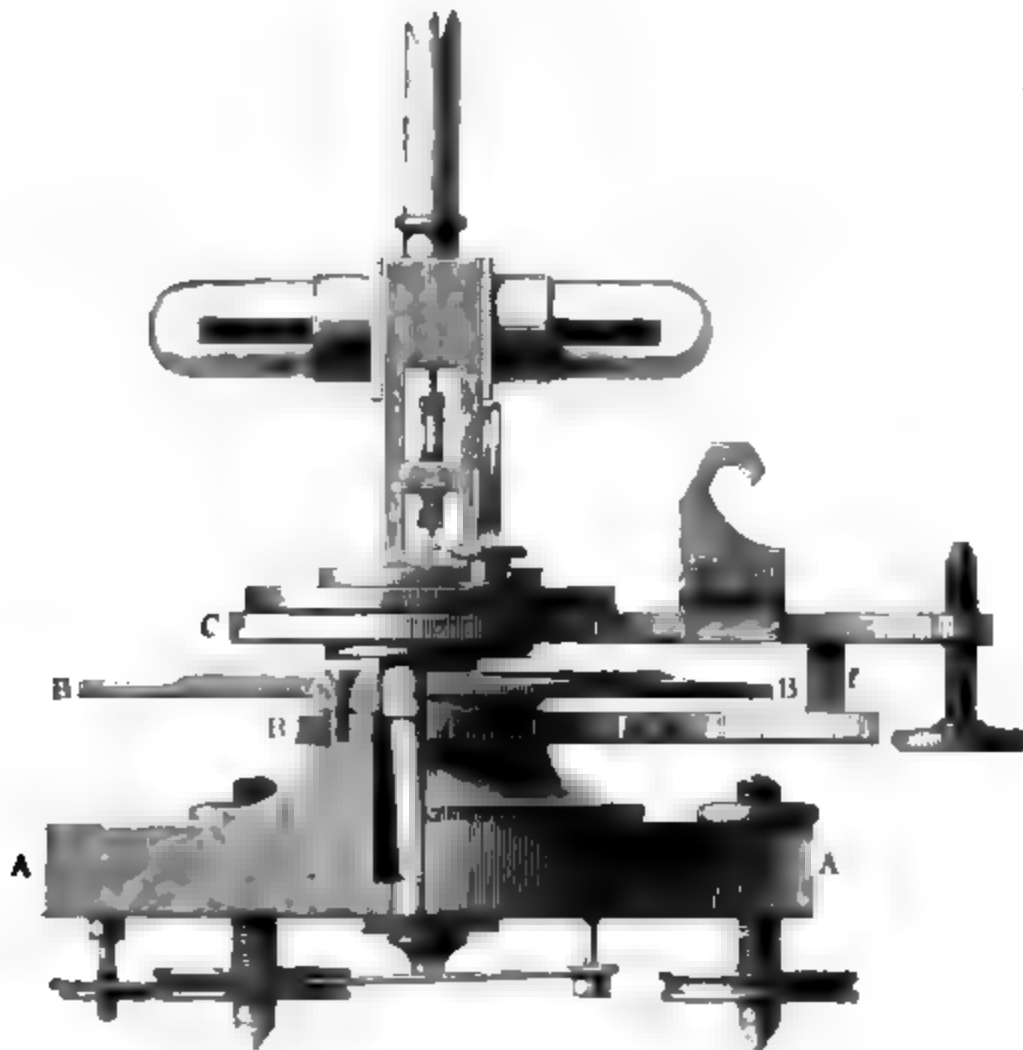
nets befinden oder an seiner Umdrehungsaxe; im letzteren Fall sich natürlich der Spiegel in der einen Lage über, in der andern dem Magneten befinden (Fig. 354).

Da es höchst wünschenswerth ist, dass die magnetischen Com nicht allein für solche Orte mit Genauigkeit bestimmt werden, an 1 magnetische Observatorien errichtet worden sind, dass namentlich auf wissenschaftlichen Reisen dergleichen Bestimmungen gemacht 1 so ist es höchst wichtig, dass die für solche Zwecke nöthigen A möglichst vereinfacht, dass sie bei grosser Genauigkeit doch comp

leicht transportabel gemacht werden. In dieser Beziehung hat sich Allem Lamont durch die Construction seines magnetischen Reise-theodoliten grosse Verdienste erworben.

Figur 355 ist eine perspectivische Ansicht von Lamont's magnetischem Theodoliten, wie er zu Declinationsbestimmungen dient. *AA* eine massive messingene Platte, welche, mit drei Stellschrauben zum horizontalrichten versehen, auf ein passendes, in unserer Figur nicht dargestelltes Stativ gestellt wird. Mit dieser Platte unveränderlich verbunden ist die am Rande mit einem getheilten Silberringe versehene

Fig 356.



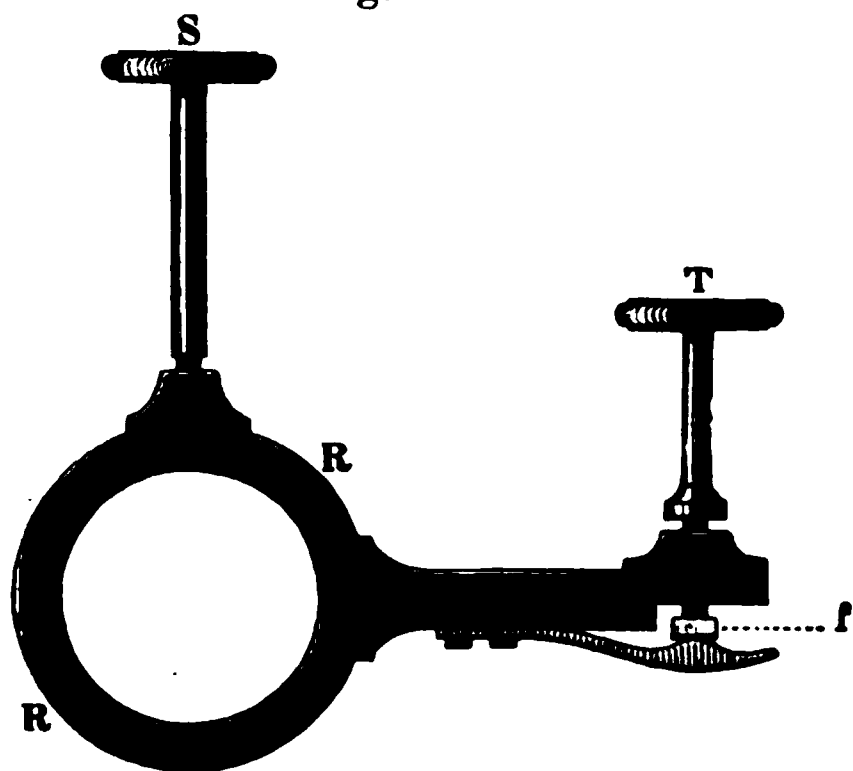
Scheibe *BB*. In Fig. 356 ist ein geometrischer Aufriss des Apparates $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse und zwar zum Theil im Durchschnitt dargestellt. Durch die Höhlung der Platte *AA* hindurch geht eine verticale Axe, welche die Scheibe *C* trägt. Die Scheibe *C* kann in ihrer Ebene um diese verticale Axe gedreht werden, und diese Drehung mit Hilfe zweier Nonien (wovon der eine in Fig. 355 sichtbar ist), die an *C* befestigt sind und an seiner Drehung Theil nehmen, auf dem getheilten Ringe *B* abgelesen werden.

Die Scheibe *C* trägt eine horizontale Verlängerung, welche als Fernrohrträger dient. Eine horizontale Axe, um welche sich das Fernrohr

drehen kann, wird durch eine messingene Feder (überhaupt kommt dem Magnetstäbchen am ganzen Apparat kein Eisen vor) von gegen den in Fig. 356 sichtbaren Haken angedrückt. Vor diesem befindet sich noch eine Messingplatte, welche in Fig. 356 der Deutlichkeit wegen fortgeblieben ist, welche man aber in der perspectivischen Ansicht erkennt und welche dazu dient, eine seitliche Bewegung der Fernrohraxe zu verhindern. Ferner geht von dieser das Fernrohrgehäuse noch eine Verlängerung f herab, welches zwischen der Verlängerung des Ringes R und einer an demselben angeschraubten Messingfeder hineinpasst.

Dieser Ring R , welcher, um den Träger des getheilten Kreisbogens gelegt, um denselben sich frei drehen lässt, ist in Fig. 357 im Querschnitt dargestellt. Durch Anziehen der Klemmschraube S wird der Ring

Fig. 357.



festgestellt und dadurch auch eine weitere Drehung der Scheibe mit Allem, was daran befestigt ist, verhindert. Eine feinere Einstellung geschieht dann mittelst der Stellschraube.

Auf die Scheibe wird nun, nachdem dieselbe mit Hilfe der Wasserwaage und der Stellschrauben der Wasserwaage A horizontal gestellt, das Magnetgehäuse

angeschraubt. Der Raum, in welchem das Magnetstäbchen selbst sich bewegen kann, wird durch zwei an den Enden zugeschmolzene Glasröhrchen gebildet. Es wird von einem durch die Messingröhre F , Fig. 355, abhängenden Seidenfaden getragen. Der Spiegel befindet sich unter dem Magneten. Ihm gegenüber ist das Gehäuse, welches auch seitlich mit Glasplatten geschlossene Oeffnungen hat, mit einer Platte von geschliffenem Spiegelglas geschlossen.

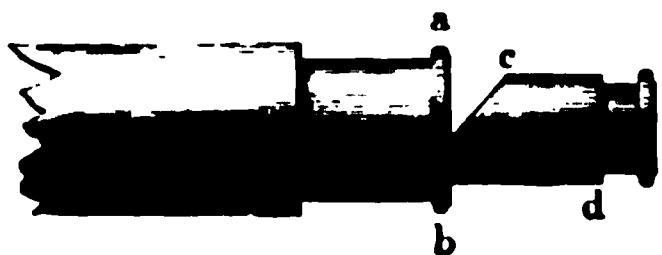
Der Magnet mit dem Spiegel hat die in Fig. 354 für sich abgebildete Einrichtung, wenn man sich das Stäbchen mit dem Haken vorstellt, welches in Fig. 354 noch unter dem Spiegel angebracht ist.

Wenn man die Scheibe C sammt dem Magnetgehäuse um ihre horizontale Axe so dreht, dass die horizontale Axe der beiden Glasröhrchen ungefähr in den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so kann der Magnet frei spielen und sich in den magnetischen Meridian einstellen. Nehmen wir an, dass die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnetstabes, so würde eine auf der Ebene des Spiegels normale Linie die Richtung des magnetischen Meridians

geben. Die Normale der Spiegelebene wird bei der richtigen Stellung Apparates durch die Axe des Fernrohres bezeichnet, dessen eigentliche Einrichtung aus Fig. 358 deutlicher zu sehen ist.

Das Objectiv des Fernrohres ist dem Spiegel zugewendet. Da wo vom Objectiv entworfene Bild entsteht, bei *ab*, Fig. 358, ist das Rohr durch eine Glasplatte verschlossen, auf welcher eine senkrechte und eine horizontale feine Linie eingeritzt sind, welche die Stelle des Fadenkreuzes vertreten. Das Ocular steckt in der Hülse *cd*, welche von oben her zur

Fig. 358.



Hälfte eingeschnitten ist, so dass man in diesen Einschnitten ein Spiegelchen legen kann. Dieser kleine Spiegel dient zur Erleuchtung des Fadenkreuzes. Ist der Apparat nahezu in die richtige Lage gebracht, so erblickt man, durch das Ocular schauend, den verticalen Strich ein-

mal direct und dann noch sein Bild im Spiegel des Magnets. Mit Hülfe der Stellschraube *T* kann man es aber nun leicht dahin bringen, dass die beiden Bilder des verticalen Striches zusammenfallen, und wenn dies der Fall ist, so steht in der That die Axe des Fernrohres normal auf der Spiegelebene; sie steht also im magnetischen Meridian, wenn die Spiegelhülse rechtwinklig steht auf der magnetischen Axe des Magnetstabes.

Ist auf diese Weise die Axe des Fernrohres in die Ebene des magnetischen Meridians eingestellt, so wird der Nonius abgelesen, dann das Magnetgehäuse vom Theodolit abgehoben und die Scheibe *C* sammt dem Fernrohr um die verticale Axe gedreht, bis die Visirlinie des Fernrohres dem astronomischen Meridian steht, bis es also auf ein für den Beobachtungsort bestimmtes Meridianzeichen gerichtet ist, und nun abermals der Nonius abgelesen. Der Unterschied dieser beiden Ablesungen ergibt die gesuchte Declination.

Wenn, wie es wohl meistens der Fall ist, für den Ort, wo das magnetische Theodolit aufgestellt wurde, gerade kein Meridianzeichen vorhanden ist, so richtet man das Fernrohr auf irgend einen entfernten Punkt, dessen Azimut für den Beobachtungsort entweder schon bekannt ist, oder aus genauen Karten ermittelt werden kann, und bestimmt also den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit der nach dem fraglichen Punkt gerichteten Visirlinie macht.

So fand z. B. Lamont, als er am 7. October 1852 auf dem Schlosse bei Freiburg sein Theodolit aufgestellt hatte und die Visirlinie des Fernrohres rechtwinklig auf der Ebene des Magnetspiegels stand, dass der Nonius auf $308^{\circ} 22,6'$ zeigte. Nach Abnahme des Magnetgehäuses wurde das Fernrohr auf die Spitze des Kirchthurms von Langendenzlingen (etwa zwei Stunden nördlich von Freiburg) gerichtet, und nun zeigte der Nonius auf $278^{\circ} 14,3'$; der Unterschied der beiden Ablesungen beträgt also $30^{\circ} 8,3'$.

Den Generalstabskarten zufolge liegt die Visirlinie von dem Beobachtungspunkte auf dem Schlossberge nach dem Kirchthurme von Denzlingen noch $12^{\circ} 43'$ östlich vom astronomischen Meridian; diese $12^{\circ} 43'$ sind nun noch von $30^{\circ} 8,3'$ abzuziehen, und so bleibt also für die Declination der Werth $17^{\circ} 25,3'$.

Dies wäre der wahre Werth der Declination, wenn die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnetes stände, was mit voller Genauigkeit nie erreichbar ist. Der magnetische Reisetheodolit ist nicht so eingerichtet, dass man den Magnet umlegen und alsdann mittelst einer zweiten Messung den Collimationsfehler eliminiren kann; dagegen ist die Grösse dieses Fehlers durch genaue Messung in einem magnetischen Observatorium, für welches die Lage des magnetischen Meridians bereits ermittelt ist, ein- für allemal bestimmt. Für das fragliche Instrument, mit welchem Lamont die obigen Messungen ausführte, beträgt er $+ 14,5'$, und diese sind noch zu $17^{\circ} 25,3'$ zu addiren, um den wahren Werth der Declination für Freiburg zu finden, welcher demnach für den Herbst 1852 $17^{\circ} 39,8'$ war.

258 Bestimmung der Inclination. Die Inclination lässt sich nicht so leicht direct mit Genauigkeit bestimmen als die Declination, weil es ungemein schwierig ist, zuverlässige Inclinatorien zu construiren, weshalb denn auch diese Instrumente sehr kostspielig und für öfteren Transport wenig geeignet sind. Man hat deshalb auf mannigfache Weise versucht, die Inclination auf indirectem Wege zu bestimmen. Brugmann sprach zuerst die Idee aus, den durch den Erdmagnetismus im weichen Eisen inducirten Magnetismus zur Inclinationsbestimmung anzuwenden, und eine von Lloyd auf diese Idee gegründete Methode wurde bereits in meinem Lehrbuche der Physik (7. Aufl. Bd. II., S. 41) besprochen.

In anderer Weise hat Lamont die magnetische Induction im weichen Eisen benutzt, um an seinem magnetischen Reisetheodolit eine Vorrichtung zur indirecten Bestimmung der magnetischen Inclination anzubringen.

In Fig. 359 ist das Magnetgehäuse sammt der Inclinationsvorrichtung dargestellt. Auf das Magnetgehäuse wird zunächst eine Messingplatte aufgesetzt, welche eine Hülse h zum Einstecken eines Thermometers t trägt. Auf diese Scheibe wird der massive Messingring NN aufgesetzt, welcher, oben und unten eben abgeschliffen, überall möglichst von gleicher Dicke ist; dieser Ring trägt seitlich zwei Arme, von denen der eine aufwärts, der andere abwärts gerichtet ist.

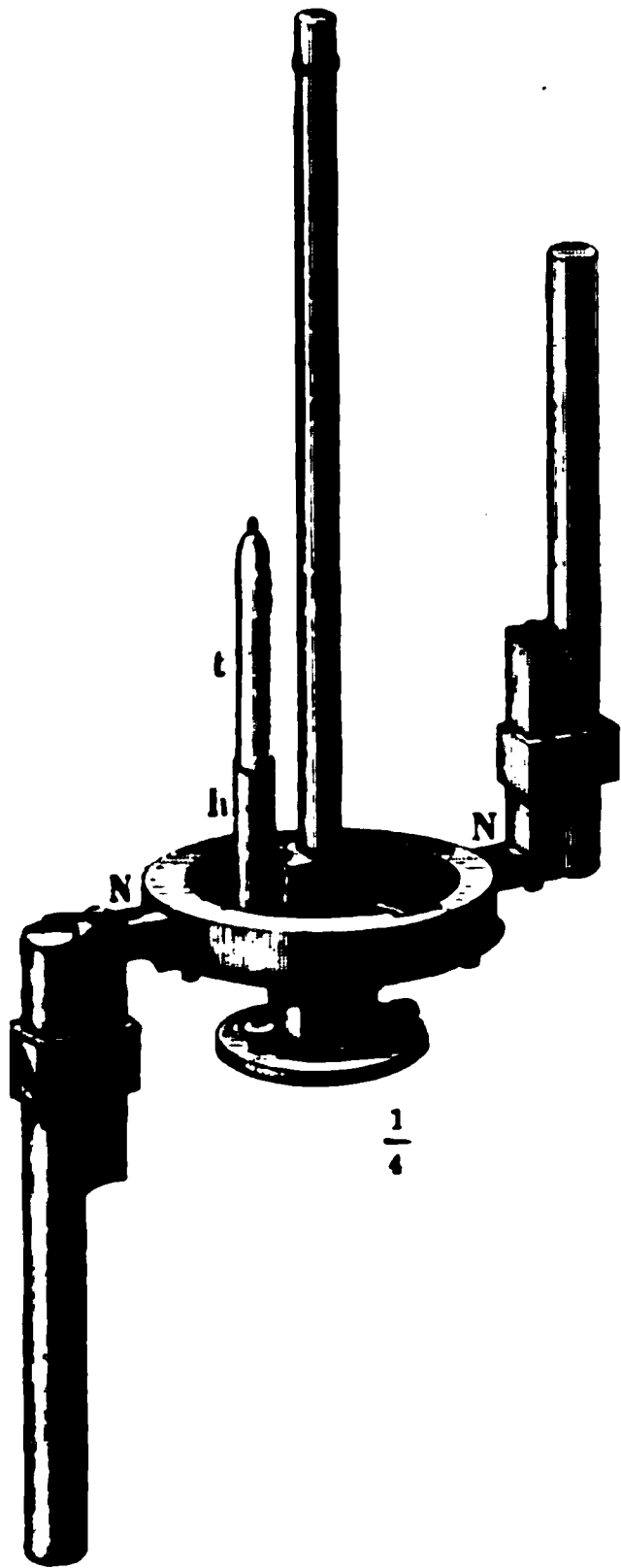
In diese zwei Arme werden zwei runde Stäbe von weichem Eisen eingesteckt und mittelst entsprechender Schrauben festgeklemmt.

Bevor man den Ring mit den Eisenstäben aufsetzt, wird das Instrument gerade so eingestellt, wie zu einer Declinationsbestimmung, d. h. so, dass, wenn man in das Fernrohr schaut, das durch den Magnetspiegel

Nun wird der Ring mit den Eisenstäben auf das Magnetgehäuse t, und zwar so, dass die Verticalebene der beiden Stäbe, durch die des Magnetstäbchens gehend, auf dem magnetischen Meridian winklig steht.

In der Höhe des Magnetstäbchens befindet sich nun auf der einen ein Nordpol (das untere Ende des nach oben gekehrten Eisenstabes),

Fig. 359.



auf der anderen ein Südpol (das obere Ende des nach unten gekehrten Eisenstabes), und diese beiden magnetischen Pole bewirken im gleichen Sinne eine Ablenkung des Magnetstäbchens aus dem magnetischen Meridian. Die Grösse dieser Ablenkung erfährt man, wenn man die Platte C, Fig. 355, sammt Allem, was darauf und daran befestigt ist, um ihre verticale Axe dreht, um dem abgelenkten Magnetstäbchen zu folgen, bis die Axe des Fernrohrs wieder rechtwinklig steht auf der Ebene des Magnetspiegels, bis also die beiden Bilder des verticalen Striches wieder zusammenfallen, wenn man in das Ocular des Fernrohrs hineinschaut.

Liest man jetzt den Nonius abermals ab, so giebt die Differenz dieser und der ersten Ablesung die Grösse des Winkels, um welchen das Magnetstäbchen durch den Einfluss des in den beiden Eisenstäben inducirten Magnetismus aus dem magnetischen Meridian abgelenkt worden ist. Wir wollen diesen Ablenkungswinkel mit v bezeichnen und zunächst sehen, in welchem Zusammen-

hang der Werth dieses Winkels v mit der Inclination i steht.

Es sei X der horizontale und Y der verticale Erdmagnetismus, so ist die Kraft, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstäbchen in denselben zurückzuziehen strebt, gleich $X \sin. v$.

Der in den beiden Eisenstäben inducirte Magnetismus, also auch das Drehungsmoment, welches sie auf das Magnetstäbchen ausüben, ist aber dem verticalen Erdmagnetismus proportional, dieses Drehungsmoment ist KY , wenn durch K ein constanter Factor bezeichnet wird. Dieses

Drehungsmoment hält aber der Kraft das Gleichgewicht, mit welcher horizontale Erdmagnetismus das abgelenkte Magnetstäbchen nach magnetischen Meridian zurückzieht; wir haben also

$$X \cdot \sin. r = K Y.$$

Setzt man die Inclination gleich i , so ist $Y = X \cdot \text{tang. } i$, folglich

$$\text{tang. } i = \frac{1}{K} \sin. r.$$

Man erhält also die Tangente der Inclination, wenn man den Sinus durch die verticalen eisernen Stäbe bewirkten Ablenkung mit einem constanten Factor $\frac{1}{K}$ multiplicirt, dessen Werth für ein bestimmtes von Eisenstäben dadurch ermittelt wird, dass man für denselben () einem zuverlässigen Inclinatorium die Inclination i und an dem magnetischen Theodolit die entsprechende durch die verticalen Eisenstäbe bewirkte Ablenkung r abliest.

So fand Lamont im Jahre 1850 die Inclination in München $64^\circ 59,5'$ und die entsprechende durch die Eisenstäbe am magnetischen Theodolit bewirkte Ablenkung gleich $20^\circ 18,4'$; es ist demnach

$$\frac{1}{K} = \frac{\text{tang. } 64^\circ 59,5'}{\sin. 20^\circ 18,4'} = 6,177.$$

Ist einmal dieser Factor für ein bestimmtes Instrument mit bestimmten Eisenstäben ermittelt, so reicht an einem anderen Orte nur Beobachtung der Ablenkung r hin, um aus derselben die entsprechende Inclination zu berechnen. Im Jahre 1850 fand z. B. Lamont zu Aschaffenburg mit seinem Instrumente die fragliche Ablenkung gleich $22^\circ 1'$; für Aschaffenburg wäre demnach

$$\text{tang. } i = 6,177 \cdot \sin. (22^\circ 1')$$

und darnach

$$i = 66^\circ 38,5'.$$

Es ist bisher nur von einer einmaligen Beobachtung der durch inducirten Magnetismus der Eisenstäbe hervorgebrachten Ablenkung Rede gewesen; da aber die Eisenstäbe nie absolut frei von permanenten Magnetismus sind, so ist es nothwendig, die Beobachtung in der That zu vervielfältigen, dass dadurch ein vom permanenten Magnetismus rührender, sowie sonstige Fehler möglichst eliminirt werden; es geschieht dies dadurch, dass man in der Stellung der Eisenstäbe gegen das Magnetstäbchen so viel Variationen macht als möglich.

Es stelle Fig. 360 die erste Stellung dar, für welche man die Ablenkung beobachtet hat, so erhält man eine entsprechende Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man den Ring in seiner Ebene um 180° dreht, so dass nun die Eisenstäbe in die Position Fig. 361 gegen die Magnetstäbchen kommen.

bringt man nun den Ring so um, dass die bisher untere Fläche die obere wird, so erhält man eine dritte Stellung der Eisenstäbe, Fig. 362, die vierte, Fig. 363, endlich, wenn man den Ring wieder in seiner ursprünglichen Lage um 180° dreht.

In diesen vier Stellungen waren die Eisenstäbe stets in gleicher Weise eingeklemmt; nun aber kann man jeden in seinem Halter um-

Fig. 360.

kehren, so dass die Stabenden *b* und *d* in die Horizontalebene des Magnetstäbchens kommen. Nach dieser Veränderung wiederholt man die Beobachtung in den eben besprochenen vier Stellungen und erhält so für die gesuchte Ablenkung acht Beobachtungen, aus denen man das Mittel nimmt.



Fig. 362.



Die Stärke der magnetischen Induction in den Eisenstäben ist von der Temperatur abhängig, ausserdem aber nimmt die Inductionsfähigkeit des weichen Eisens, welche unmittelbar nach dem Ausglühen am grössten ist, allmähig ab, und diese beiden Umstände machen bei der Berechnung der In-

Fig. 361.



Fig. 363.



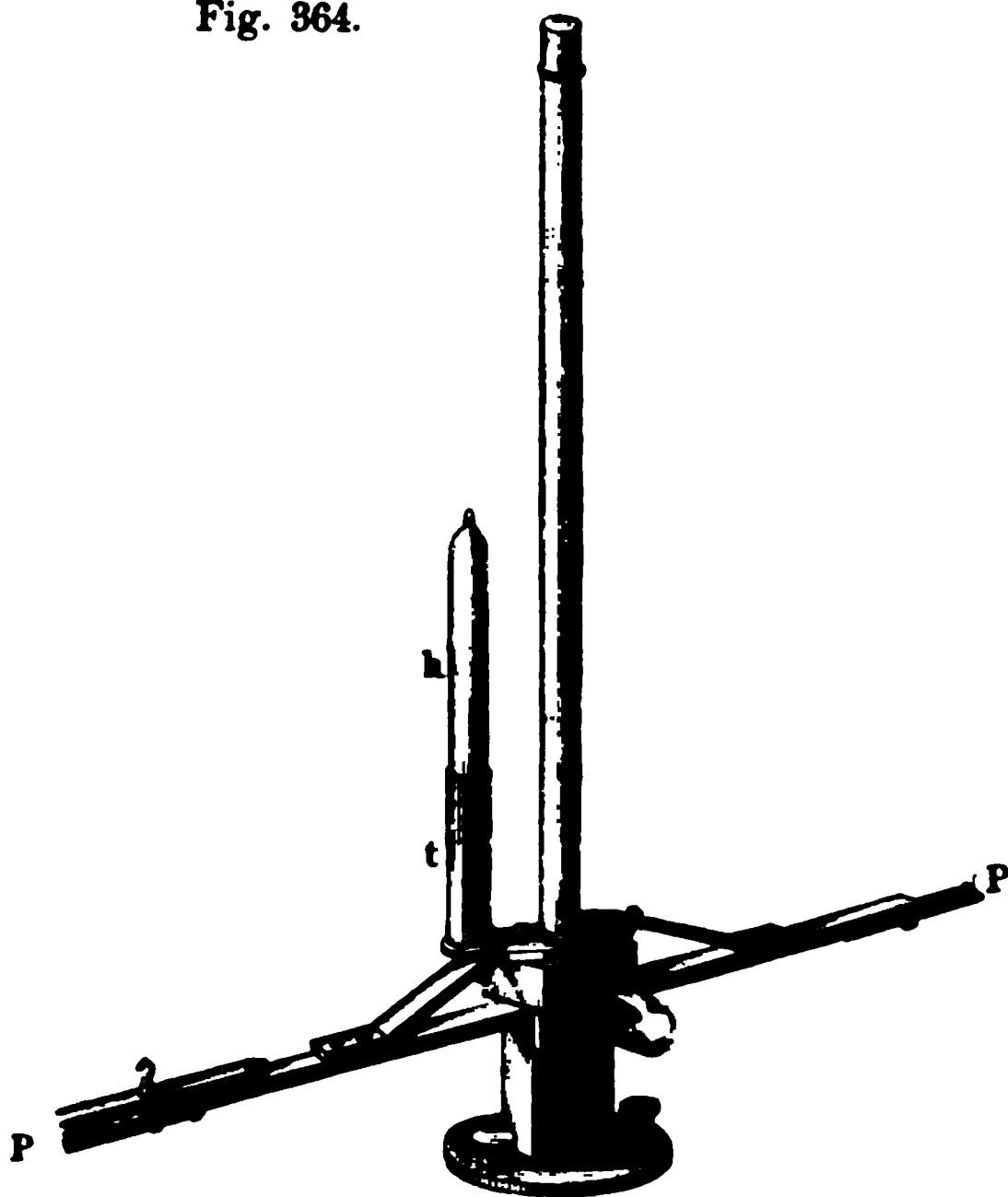
Correctionen nöthig, welche nicht unbeachtet bleiben dürfen, auf grosse Genauigkeit ankommt. In Beziehung auf diese Correctionen müssen wir auf die von Lamont in seiner „Beschreibung der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparete eine Auseinandersetzung verweisen.

Bestimmung der horizontalen Intensität. Die Methode, 259
die man anzuwenden hat, um die horizontale Intensität nach absolute Masse zu bestimmen, ist bereits im Lehrbuch der Physik beschrieben. An seinem magnetischen Theodolit hat nun Lamont

diejenigen Vorrichtungen angebracht, welche zu einer solchen mung der Intensität nothwendig sind.

Die Bestimmung der Intensität nach absolutem Maass erfordert gesonderte Beobachtungen, nämlich 1) die Beobachtung der Abl

Fig. 364.

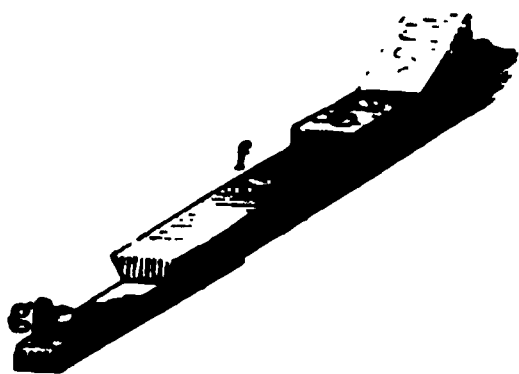


welche ein Mag an einer Decli nadel bewirkt, die Beobachtung der Schwingungen, das Ablenken unter dem Einfluss des Erdmagnetismus.

Für die Ableversuche wird magnetischen T eine Ablenkung PP aufgesetzt man es Fig. 36 und nachdem strument so ei worden ist, d Axe des Fernmal steht auf d des Magnetspie man für diese den Nonius a

hat, wird nun der Ablenkungsmagnet an dem einen Ende der aufgelegt. — Damit er immer genau auf dieselbe Stelle kommt der Schiene, wie man Fig. 365 sieht, welche das eine Ende der

Fig. 365.



in grösserem Maassstabe darstellt, ein und am Ende derselben eine kleine befestigt, welche genau in zwei Löcher d Netztäbchens passen.

Hat man die dieser Stellung des entsprechende Ablenkung abgelesen, der Ablenkungsmagnet so umgelegt, d Nordpol dahin kommt, wo eben sein Süd und umgekehrt, und abermals die m entgegengesetzter Seite gerichtete Ablenkung abgelesen. Ist schehen, so wird der Ablenkungsmagnet auf das entgegengesetzte der Ablenkungsschiene gebracht und für die dort möglichen Stellungen des Ablenkungsmagnets ebenfalls die entsprechende kung abgelesen. So erhält man für die Ablenkung vier Wert enen das Mittel genommen und in Rechnung gebracht wird.

theodolit und demselben Magnetstäbchen ergab sich z eine Ablenkung von $51^{\circ} 50'$, die horizontale Intensität : burg ist demnach

$$T' = 1,952 \cdot \frac{\text{tang. } 49^{\circ} 50'}{\text{tang. } 51^{\circ} 50'} = 1,859.$$

Für die genaue Berechnung der horizontalen Inte gleichfalls Correctionen wegen der Temperatur u. s. w hier nicht weiter besprochen werden können.

260 Die magnetischen Constanten verschied
 neuerer Zeit sind nicht allein zahlreiche magnetische (richtet, sondern es sind auch durch magnetische Exped netischen Constanten an den verschiedensten Orten de worden. In Deutschland ist namentlich Lamont seit müht, die magnetischen Constanten verschiedener Orte : hat die Resultate magnetischer Excursionen in einem „Magnetische Ortsbestimmungen, ausgeführt a Punkten des Königreichs Baiern und an einigen anderen chen 1854,“ publicirt.

In den Jahren 1856 und 1857 unternahm Lamont Expedition nach Frankreich und Spanien; im Jahre solche nach dem nördlichen Deutschland, Belgien Dänemark. Den Bericht über diese Reisen und die Re hat er in seinen „Untersuchungen über die Richtung Erdmagnetismus u. s. w., München 1858 und 1859“ n folgende Tabelle enthält die magnetischen Constanten von Orten für welche sie am genauesten bestimmt

des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizon- tale Intensität.
------------	-------	--------------	--------------	---------------------------------

I. Deutschland und dazu gehörige Länder.

urg	1850	17° 28,6'	66° 43,4'	1,855
.	1850	16 15,0	65 14,9	1,937
.	1845	16 32,0	67 35,0	1,780
.	1845	17 20,0	64 56,0	1,950
.	1850	17 30,3	66 8,4	1,891
.	1850	17 9,9	66 59,4	1,820
.	1850	17 39,3	65 28,4	1,934
.	1845	17 43,0	67 32,0	1,785.
tadt	1845	10 6,0	61 21,0	2,171
.	1845	12 15,0	65 27,0	1,931
.	1850	15 43,8	67 5,0	1,831
.	1845	17 0,0	63 13,0	2,037
.	1850	17 40,4	67 17,8	1,824
.	1850	16 13,6	65 24,9	1,925
.	1850	16 19,5	65 54,8	1,902
.	1845	12 52,0	63 20,0	2,036
.	1850	14 38,3	66 52,0	1,892
.	1850	17 35,6	66 20,8	1,881
.	1845	14 4,0	64 22,0	2,036
.	1850	13 33,5	64 22,0	1,995

. Grossbritannien, Frankreich, Belgien, Holland.

.	1850	20° 40,7'	67° 54,8'	1,771
.	1845	27 0,0	69 41	1,689
.	1850	22 29,5	68 48,0	1,739
.	1845	20 52,0		1,723
.	1850	20 35,8	66 42,2	1,858

III. Russland und die skandinavischen Länder.

.	1842	— 8° 25'	70° 7'	2,051
iburg	1842	— 6 39	69 53	1,838
.	—	+ 19 50	72 7	1,547
.	—	— 5 50	74 18	1,571
.	—	— 1 38	68 14	2,134
.	1842	— 3 24	68 22	1,877
.	—	+ 3 2	68 57	1,762
sk	1842	+ 3 44	67 8	2,206
.	1842	+ 6 21	71 0	1,658
.	—	+ 43 14	77 0	. . . .
n	—	+ 25 12	81 11	0,836
.	1845	+ 1 32		2,554

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	H lat
------------------	-------	--------------	--------------	----------

IV. Südeuropa.

Gibraltar	1840	21° 40'	59° 40'	2
Palermo	1835	16 3	57 16	2

V. Afrika.

Algier	1842	18° 35'	+ 57° 21'	2
Cap der guten Hoffnung	1842	29 13	— 53 20	2
St. Helena	1842	23 32	— 21 52	2
Port Louis (Mauritius) .	1845	9 44	— 53 56	2

VI. Südasiatische Länder.

Bombay	1845	. . . . .	+ 18° 12'	2
Macao	1841	— 0 35	+ 30 1	2
Madras	1837	. . . . .	+ 6 52	2
Manilla	1840	— 0 18	+ 16 27	2
Peking		+ 1 48	+ 54 49	2
Singapore	1841	— 1 39	— 12 1	2

VII. Nordamerika.

Acapulco	1838	— 8° 23'	+ 37° 57'	2
Albany	1840	+ 6 58	74 48	1
Buffalo-See	1837	+ 1 25	74 38	.
Cambridge	1840	+ 9 12	74 19	.
Cincinnati	1840	— 4 46	70 27	2
Fort Vancouver	1839	— 19 22	69 22	2
Hudson	1840	— 1 52	72 48	.
Mont-Real	1835	+ 9 50	77 9	1
New-York	1840	+ 5 34	72 39	.
Port Etches	1837	— 31 38	76 3	.
Santa Barbara	1839	— 13 28	58 54	.
San Francisco	1838	— 15 20	62 0	2
Sitka	1845	— 28 53	75 51	1
St. Louis	1835	— 8 49	69 28	.
Washington	1842	+ 1 24	71 14	2

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizon- tale Intensität.
------------------	-------	--------------	--------------	---------------------------------

VIII. Südamerika.

ia	—	+ 4° 18'	+ 5° 24'	3,036
no	1838	— 10 44	— 6 14	3,403
oe	—	— 18 0	— 49 26	2,975
opagos-Insel	1839	— 9 30	+ 9 29	. . .
te-Video	—	— 12 0	— 35 40	3,009
ma	1837	— 7 2	+ 31 52	3,575
ambuco	—	+ 5 54	+ 13 13	. . .
Janeiro	—	— 2 8	— 13 30	. . .
paraiso	—	— 15 18	— 39 7	. . .

IX. Australien.

land-Insel	1841	— 15° 29'	— 73° 10'	1,893
of Island (Neu-See- nd)	1842	— 13 36	— 59 32	. . .
artown	1846	— 9 55	— 70 36	2,070
g George's Sound . .	1845	— 5 33	— 65 4	. . .
at Venus (Otaheiti) .	1840	— 6 30	— 30 18	3,417
t Louis (Falklands nseln)	1842	— 17 36	— 52 26	. . .
ney	1842	— 9 51	— 62 49	2,712

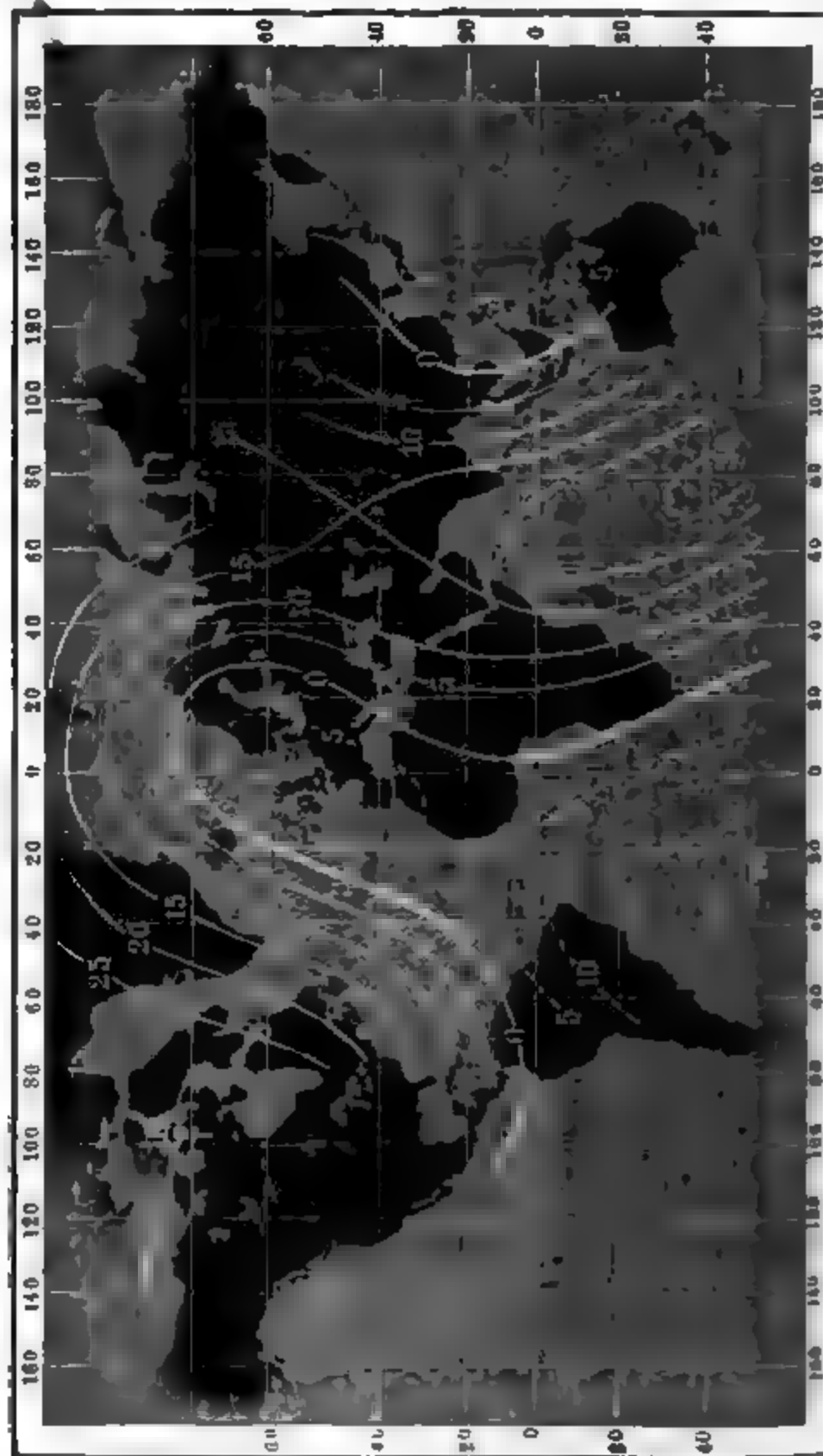
In dieser Tabelle bezeichnet — eine östliche Declination und eine süd-
e Inclination, das Zeichen + dagegen oder kein Vorzeichen westliche
lination und nördliche Inclination.

Magnetische Curven. So wie durch die Isothermen die Ver- 261
ilung der Wärme auf der Erdoberfläche anschaulich gemacht wird, so
en sich auch die magnetischen Verhältnisse durch entsprechende Cur-
systeme darstellen. Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an
nd einem Orte der Erde ausübt, ist durch Declination, Inclina-
n und Intensität bestimmt und dem entsprechend hat man auf Karten
i verschiedene Systeme magnetischer Curven aufgetragen, welche man
isogonischen, die isoklinischen und die isodynamischen ge-
nt hat.

Die isogonischen Linien sind diejenigen, für welche in allen
akten die Declination dieselbe ist; solche Karten, in welche man die
gonischen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskarten.

Die erste Karte der Art hatte Halley im Jahre 1700 construiert. In einem Werke, welches im Jahre 1819 unter dem Titel „Untersuchungen über den Erdmagnetismus“ erschien, publicirte Hansteen eine Reihe von Declinationskarten, welche er nach dem vorhandenen Beob-

Fig. 367.

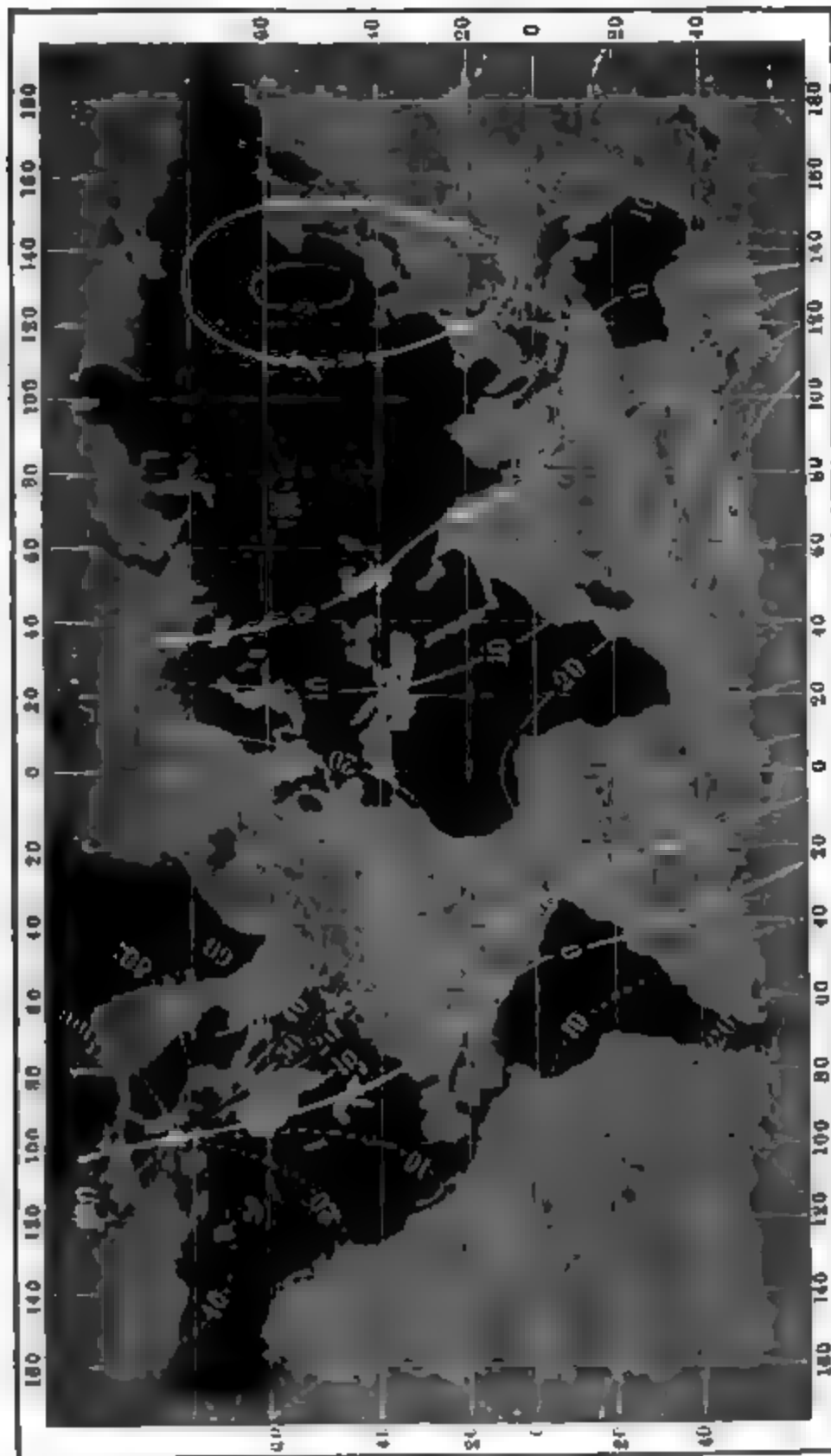


Declinationskarte für 1600

achtungsmaterial für verschiedene Zeitpunkte, unter anderen auch für die Jahre 1600, 1700 und 1800 construiert hatte. Die Vergleichung dieser Karten zeigt deutlich, wie sich die Lage der isogonischen Linien im Laufe der Zeit verändert. Fig. 367 ist eine verkleinerte Copie der

teen'schen Declinationskarte für das Jahr 1600. Die punktierten sind Linien gleicher östlicher Declination. Die nach Graden angegebene Grösse der Declination ist jeder Curve beigeschrieben.

Fig. 368 stellt den Lauf der isogonischen Linien für das Jahr 1860

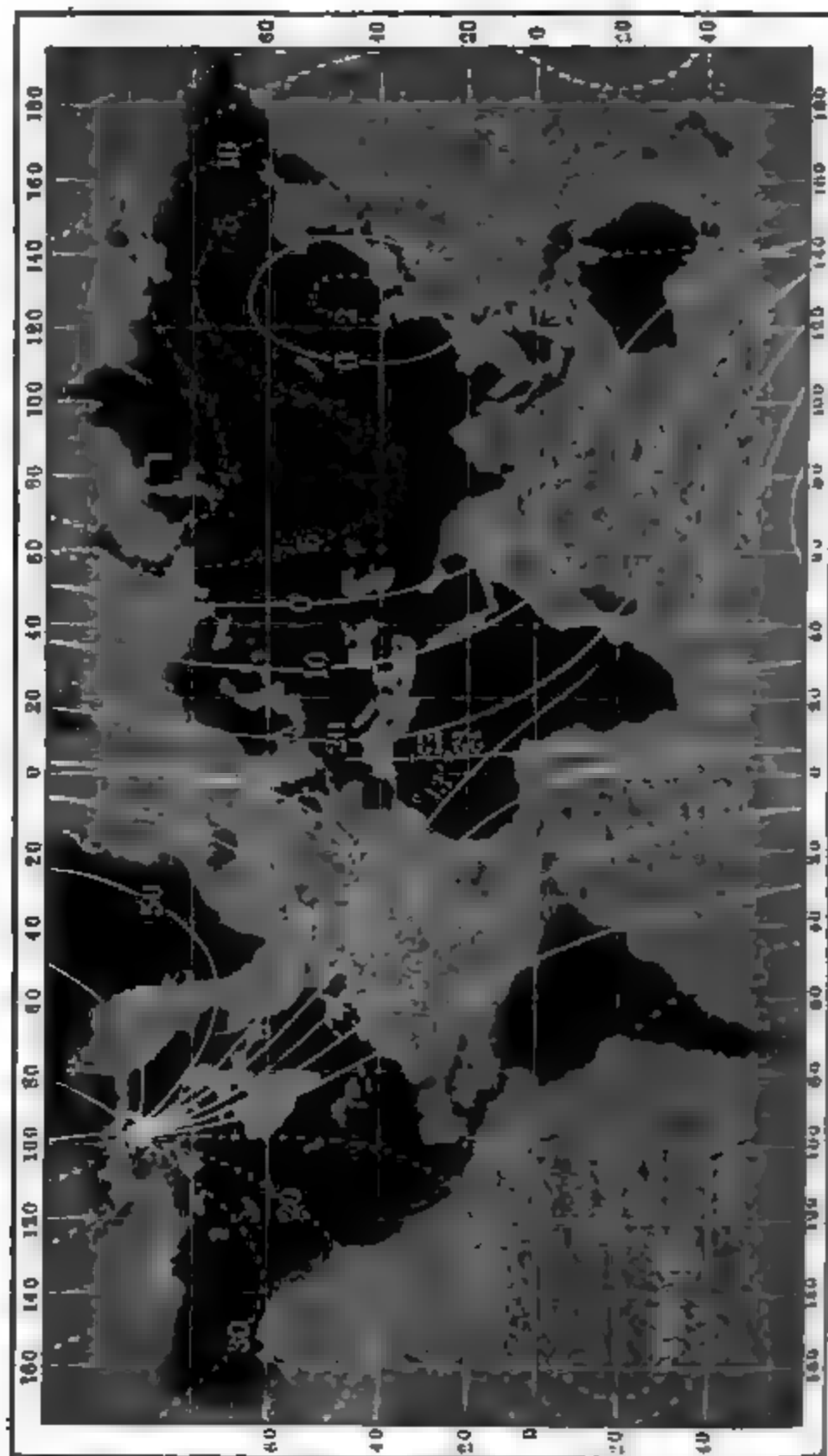


Declinationskarte für 1860.

während Fig. 369 (a. f. S.) dieselben darstellt, wie sich ihr aus den nach der Gauss'schen Theorie des Erdmagnetismus, von welcher alsbald die Rede sein wird. — Die Karten 367 bis 369 stellen die Erdoberfläche in Merkatorprojection

vom 80. Grade nördlicher bis zum 60. Grade südlicher Breite. Solche Karten können der Natur der Sache nach die beiden Enden nicht enthalten. Will man den Verlauf der isogonischen Linien in der Nähe der Pole verfolgen, so muss man Karten in Polarprojectio-

Fig. 369.



Magnetische Karte für 1835

wenden, wie die Karten Fig. 370 und 371 auf S. 742, deren eine die Umgebungen des Nordpols, die andere die Umgebungen des Südpols bis 60. Breitengrade mit den isogonischen Linien für 1835 darstellt.

Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine solche Linie, auf welcher

erall die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit der Richtung des astronomischen Meridians zusammenfällt, schnitt 1835 die östliche Spitze in Südamerika ab, lief östlich von Westindien durch den atlantischen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von America einzutreten und durch die Hudsonsbai hindurch zu laufen; dann pastete diese Linie ohne Abweichung den magnetischen und den astronomischen Nordpol der Erde, trat östlich vom weissen Meere in den Continent der alten Welt ein, ging durch das caspische Meer, schnitt die Westspitze von Arabien ab, wandte sich dann nach Neuholland, um endlich durch den magnetischen und astronomischen Südpol der Erde in sich selbst zurückzulaufen.

In der Karte Fig. 369 erscheinen zwei Stücke dieser Linie getrennt voneinander; die Verbindungsstücke dieser beiden Theile kann man auf den Karten Fig. 370 und 371 verfolgen.

Diese Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumläuft, theilt die Erdoberfläche in zwei Theile; auf der einen Hälfte, nämlich auf dem atlantischen Ocean, in Europa und Afrika, ist die Abweichung der Magnetnadel überall eine westliche; auf der anderen Hälfte ist die Abweichung östlich, mit Ausnahme einer kleinen Strecke im östlichen Asien und dem angränzenden Meere, denn hier findet sich eine kleine in sich selbst zurücklaufende Linie, für welche die Abweichung Null ist, und auf dem durch diese Curve eingeschlossenen Raume ist die Abweichung wieder westlich.

In der Nähe der Pole bilden die isogonischen Linien ein ziemlich complicirtes System, indem sie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetischen und in dem astronomischen Pole, zusammenlaufen; dies rührt noch nicht daher, dass die magnetischen Erscheinungen in jenen Gegenden so complicirt sind, sondern nur daher, dass bei der Bestimmung der Declination ein dem Magnetismus selbst eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des astronomischen Meridians, in Betrachtung zu kommen ist; durch diese Einmischung geht die Einfachheit verloren. Der magnetische Pol, in welchem alle isogonischen Linien zusammenlaufen, ist allerdings ein magnetisch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieses Pols um denselben einen Kreis gezogen, wird für alle Punkte dieses Kreises die horizontale Magnetnadel nach dem Pole hin gerichtet sein; der Nordpol und der Südpol der Erde sind aber durchaus keine magnetisch ausgezeichneten Punkte, obgleich die isogonischen Linien sich in diesen Polen schneiden; sehen wir nun, woher dieses kommt. Auf dem Nordpole selbst fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel sehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zusammen; in der Nähe dieses Pols rings um denselben herum wird nun die Magnetnadel fast ganz dieselbe Richtung haben, rings um den Pol herumgehend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieselbe Richtung der Magnetnadel macht

Fig. 370.

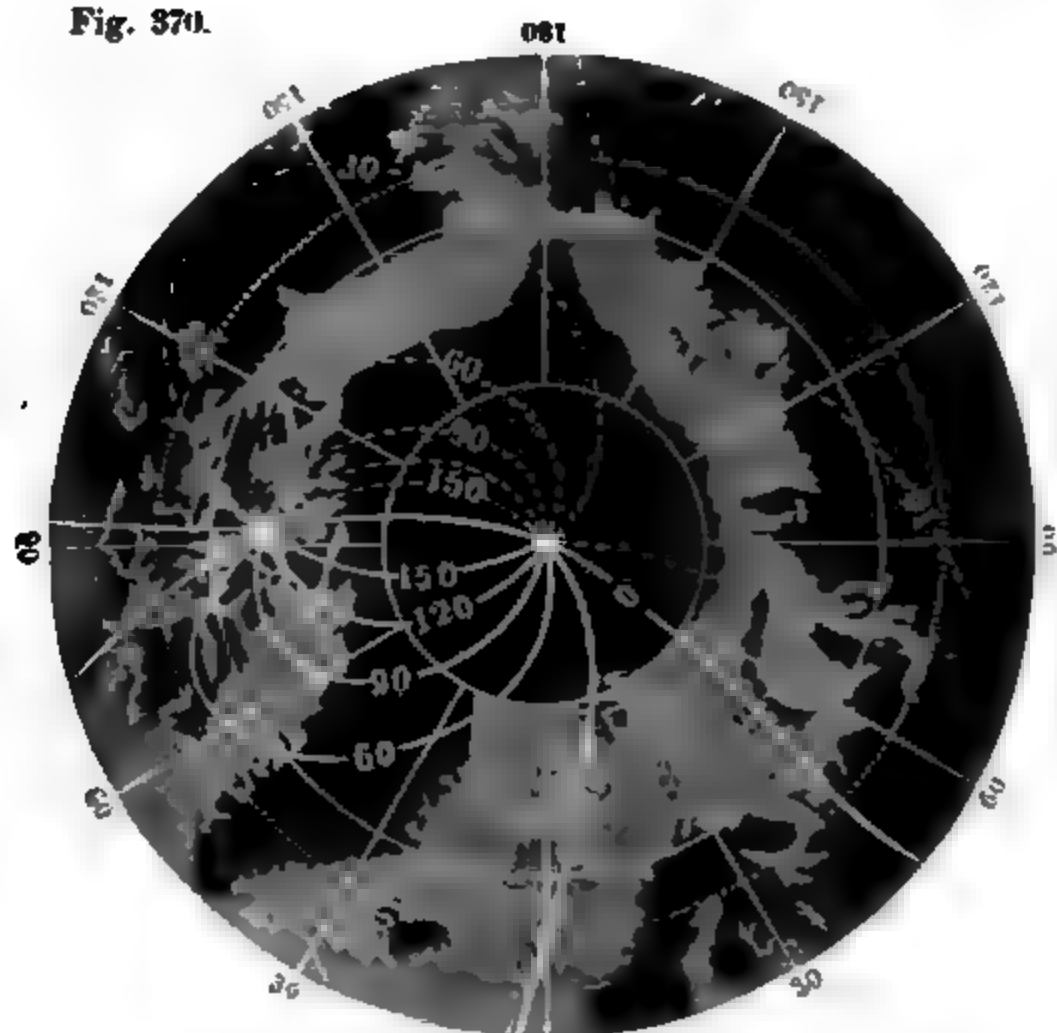
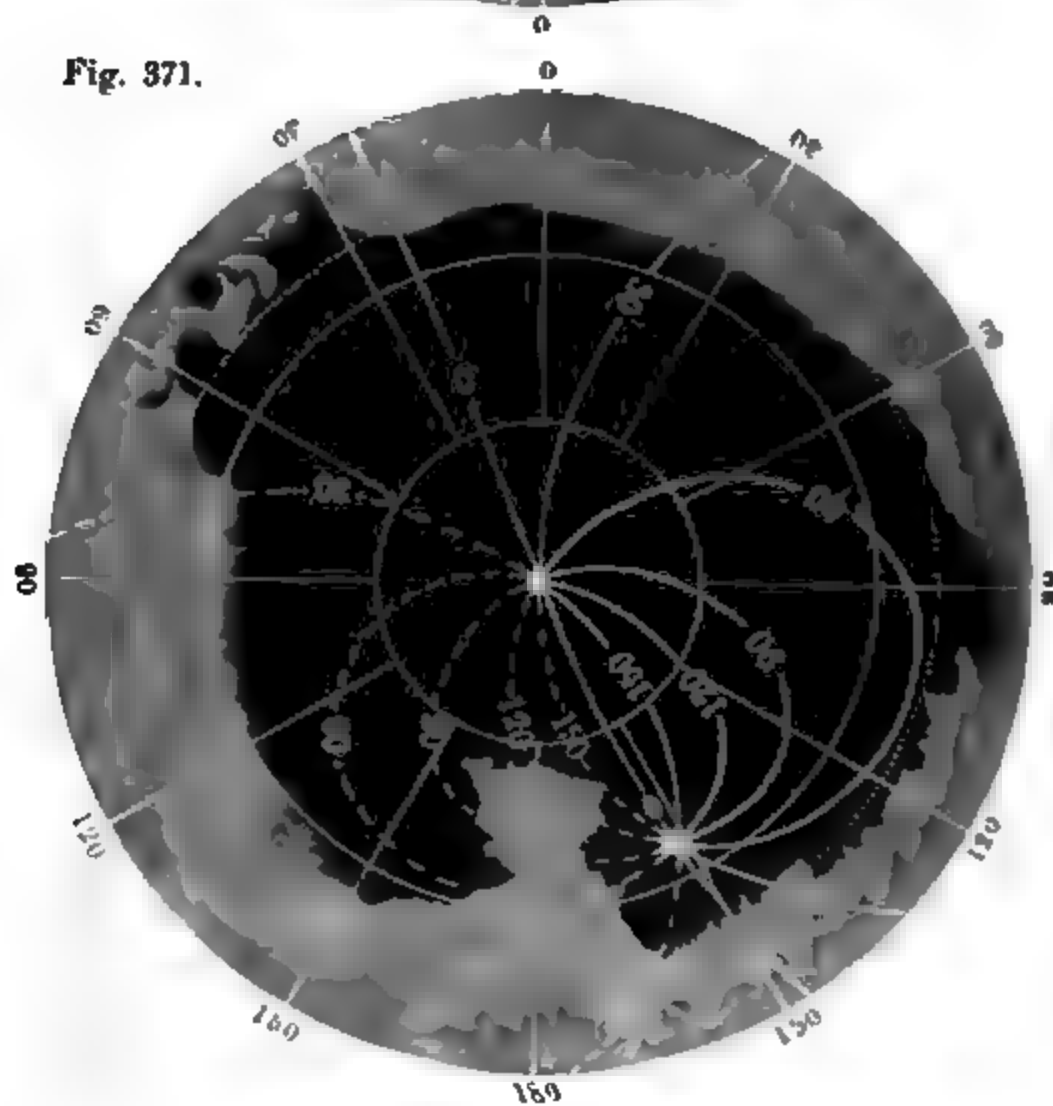


Fig. 371.



o verschiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zusammenlaufenden Meridianen.

Diese scheinbare Verwicklung verschwindet, wenn man zur Darstellung der Declinationsverhältnisse der Erdoberfläche ein anderes Curvensystem wählt, wie es Duperrey bei der Construction seiner magnetischen Meridiane und Parallelen gethan hat.

Denken wir uns, dass man von irgend einem Orte ausgehend in der Richtung reiste, nach welcher das Nordende der Magnetnadel hinweist, und dass man dann stets der Richtung der Declinationsnadel folgt, so wird der Weg, den man zurücklegt, ein magnetischer Erdmeridian sein. Von Brüssel ausgehend, würde man auf diese Weise östlich von England, Schottland und Island vorbeikommen und durch Grönland nach Boothia Felix gelangen. Von St. Helena ausgehend käme man auf diese Weise nach dem grünen Vorgebirge, über die canarischen Inseln und die Küsten an der Südspitze von Grönland vorbei, endlich ebenfalls, nach Boothia Felix, wie man dies leicht auf der Karte Tab. XXIV. verfolgen kann, auf welche eine Reihe von magnetischen Erdmeridianen nach Duperrey aufgetragen sind, dessen Karten die magnetischen Meridiane für 1836 darstellen.

Tab. XXV. enthält die magnetischen Meridiane für die Umgebungen Nordpols, Tab. XXVI. für die Umgebungen des Südpols.

In diese Karten sind ausserdem noch die Linien ohne Ablenkung, wie in den Gauss-Weber'schen Karten eingetragen, und diejenigen Gegenstände blau angelegt, an welchen die Declination eine westliche ist.

Die magnetischen Meridiane geben unmittelbar die Richtung der Declinationsnadel für diejenigen Orte an, durch welche sie laufen. So sehen wir aus dem Laufe der entsprechenden Curve, dass zu Brüssel (1836)

Declination eine westliche ist, dass ungefähr unter dem 76. Grade nördlicher Breite an den Westküsten von Grönland die Nadel gerade nach Norden zeigt, und dass in Port Bowen dasselbe Ende der Declinationsnadel, welches wir das Nordende nennen, nach Südwesten, dass es auf Melville-Insel nach Südosten gerichtet ist.

Alle magnetischen Erdmeridiane laufen in dem magnetischen Nordpole, und dann wieder in dem magnetischen Südpole der Erde zusammen.

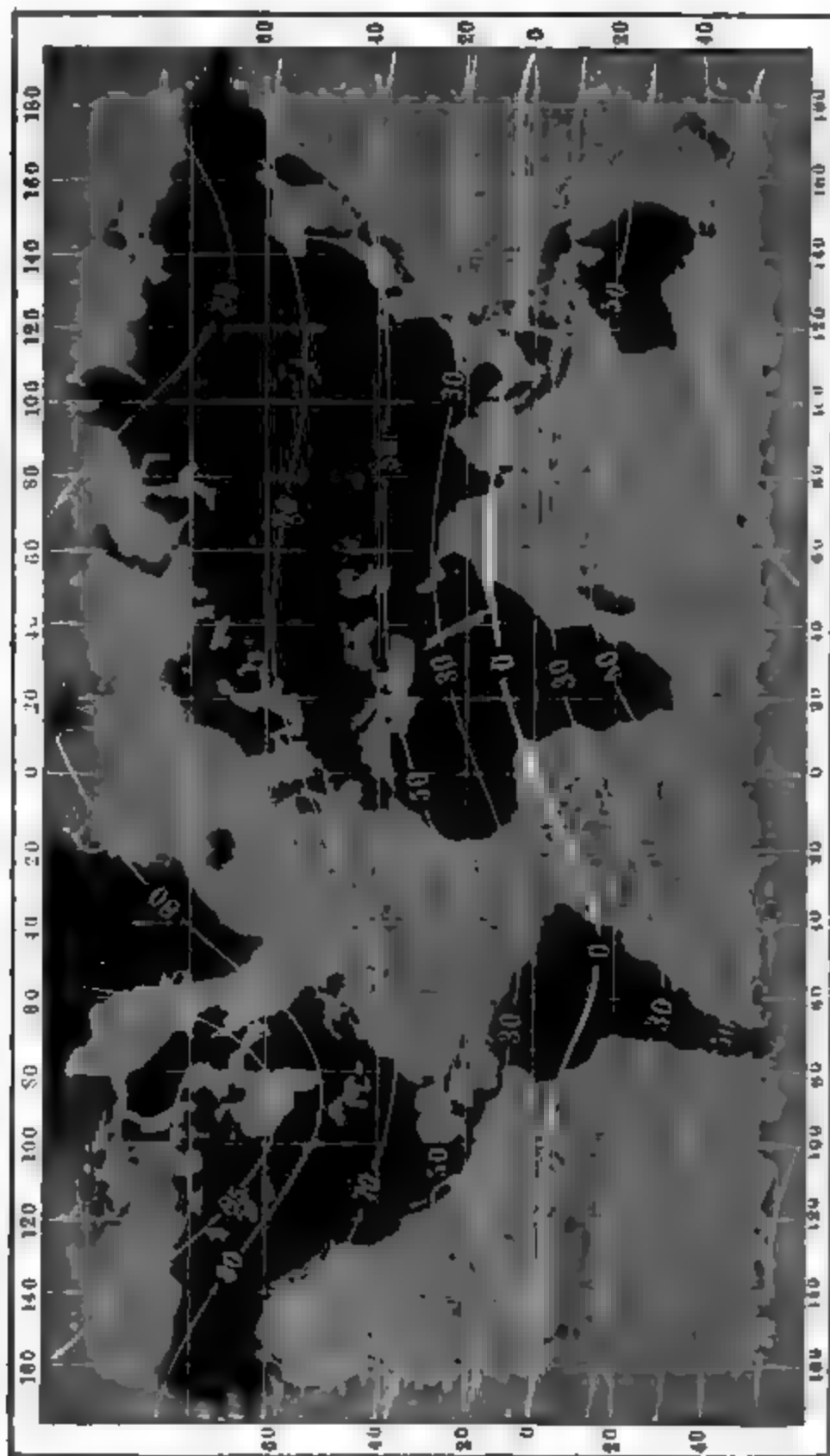
Solche Curven, welche das System der magnetischen Meridiane stets rechtwinklig durchschneiden, nennt Duperrey magnetische Parallelen. In unseren Karten finden sich auch einige derselben eingetragen.

Die Linien ohne Abweichung laufen natürlich durch die nördlichen und durch die südlichen Wendepunkte der magnetischen Parallele, und durch die östlichen und westlichen Wendepunkte der magnetischen Meridiane.

Die Karte Fig. 372 (a. f. S.) stellt den Lauf der isoklinischen Linien für 1860 dar. Die isoklinischen Linien verändern sich im Laufe der Zeit wie die isogonischen. Der jetzige Lauf der isoklinischen

Linien weicht schon bedeutend von der Lage der entsprechenden Linien auf der von Hansteen für 1780 construirten Inclinationskarte ab. Es ist dies die früheste Periode, für welche hinlängliches Material zur Con-

Fig. 372.



Inclinationskarte für 1840

struction einer über einen grösseren Theil der Erde sich erstreckenden Inclinationskarte vorliegt.

Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich 0 ist, auf welcher also die Inclinationsnadel wagerecht steht, ist der mag-

ische Aequator. Nördlich vom magnetischen Aequator ist das Nördliche, südlich von demselben ist das Südliche der Inclinationsnadel horizontal unten gerichtet.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertical steht, wo also der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft ganz verschwindet. Solcher magnetischer Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen südlichen. Nach der Gauss'schen Theorie (für 1835) der nördliche magnetische Pol $3^{\circ} 30'$ nördlich von dem Orte, wo ihn der Capitain Ross fand; beim südlichen magnetischen Pole wird man, wie Gauss bemerkt, wohl noch eine bedeutend grössere Verbiegung zu erwarten haben.

Man kann sich über diese Differenzen zwischen der Rechnung und Beobachtung nicht wundern, wenn man bedenkt, dass die Data, welche Gauss zur Ausführung seiner Theorie zu Grunde legen konnte, selbst sehr oder weniger ungenau sind, dass die Angaben verschiedener Beobachter für einen und denselben Ort oft zu bedeutend differiren, als dass man annehmen könnte, diese Unterschiede seien den Veränderungen der magnetischen Kraft im Laufe der wenigen Jahre zuzuschreiben, welche zwischen den Beobachtungszeiten beider liegen.

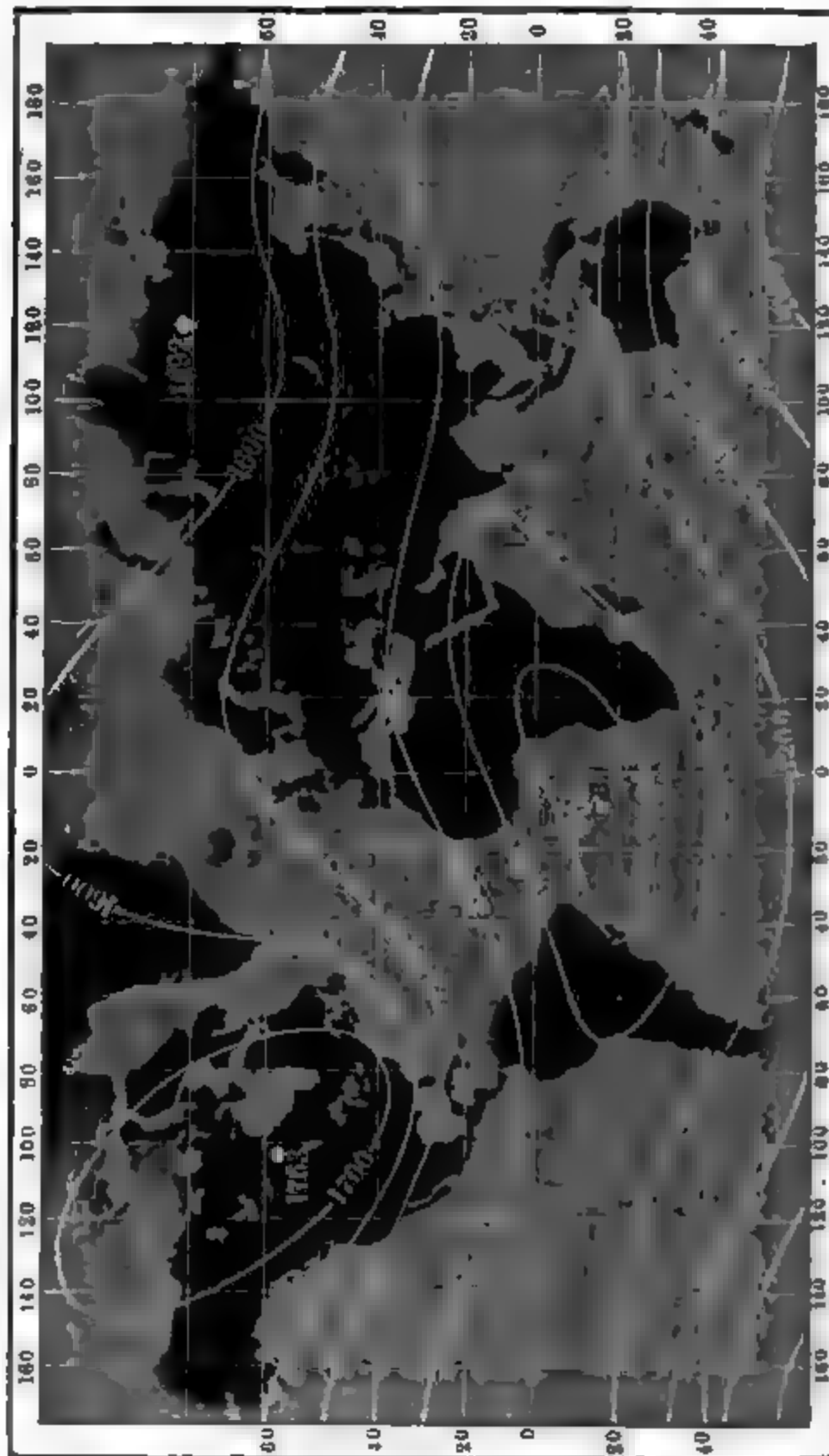
Die Grösse der entsprechenden Inclination ist jeder Curve unserer Karten beigeschrieben. Der magnetische Nordpol ist in Fig. 372 durch einen stärkeren weissen Punkt bezeichnet. Die magnetischen Pole sind dieselben Punkte, in welchen die Declinationscurven in Fig. 370 und 371 zusammenlaufen.

Die beiden magnetischen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch den Mittelpunkt der Erde, sondern diese Linie bildet eine Sehne, welche von dem durch diese Sehne und den Erdmittelpunkt gezogenen grössten Kreise einen Bogen von $161^{\circ} 13'$ abschneidet.

In der Karte Fig. 373 sind die isodynamischen Linien nach den berechneten Werthen der ganzen Intensität für 1835 aufgetragen. Man sieht, dass es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intensität ein Maximum, d. h. grösser ist als in allen rund um gelegenen Orten; ein solches Maximum der Intensität findet sich in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonsbai, Fig. 373, ein zweites im nördlichen Asien. Dieser Umstand hat einige Gelehrte veranlasst, die Existenz von zwei magnetischen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entscheiden, ob dies wirklich der Fall ist, muss man in allen Dingen feststellen, was man unter einem magnetischen Pole der Erde versteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetische Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verschwindet; man könnte aber unter einem magnetischen Pole auch eine solche Stelle verstehen, für welche die Intensität des Magnetismus ein Maximum ist. Diese beiden Begriffe

sind aber nun durchaus nicht identisch, es kann an einem Orte die horizontale Componente des Erdmagnetismus verschwinden, die Inclinationsnadel kann sich vertical stellen, ohne dass deshalb hier auch ein Maximum der Intensität zu finden ist; umgekehrt kann an einem Orte die

Fig. 373.



tensität des Erdmagnetismus sehr wohl ein Maximum sein, ohne dass die Inclinationsnadel vertical stellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, so giebt es einen magnetischen Nordpol. An diesem Pole ist die Intensität des E

tismus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intensität ein Maximum ist, stellt sich die Inclinationsnadel nicht vertikal. Diese Orte sind also nach unserer Begriffsbestimmung keine magnetischen Pole.

Die den isodynamischen Linien beigeschriebenen Zahlen geben den Werth der Intensität nicht nach absolutem Maasse, sondern nach der üblichen willkürlichen Einheit an, nach welcher die Intensität zu Stralsund 1,372 ist; nur sind diese Zahlen, um Brüche zu vermeiden, mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unserer Karte auf das absolute Maass zu reduciren, sind sie nur mit 0,0034941 zu multipliciren.

Lamont's magnetische Karten. Um den Verlauf der magnetischen Curven genauer zu verfolgen, muss man denselben in Specialkarten von Ländern eintragen, für welche möglichst zahlreiche und genaue magnetische Ortsbestimmungen vorliegen, wie dies Lamont in seinen magnetischen Karten von Deutschland und Bayern (München 1854) gethan hat.

Fig. 374 ist die Lamont'sche Declinationskarte von Deutschland im kleinerem Maassstabe wiedergegeben. Die durch München gehende, oben und unten mit 0 bezeichnete Curve verbindet alle Orte, welche mit derselben Declination haben. Die nach Westen hin zunächst liegende mit $+1^\circ$ bezeichnete geht über diejenigen Orte, deren westliche Declination um 1° grösser ist als die Declination von München; ebenso gehen die mit $+2^\circ$, $+3^\circ$ u. s. w. bezeichneten Curven einer um Grad grösseren, und die mit -1° , mit -2° , -3° u. s. w. bezeichneten einer um 1, 2 und 3 Grad geringeren Declination.

Im Jahre 1852 betrug die Declination für München $15^\circ 40'$. Für das Jahr beträgt also die Declination für Luxemburg $18^\circ 40'$. Nach Wien ist der Karte zufolge die Declination ungefähr $2^\circ 20'$ kleiner als zu München, sie ist also für Wien im Jahre 1852 gleich $13^\circ 20'$ u. s. w.

Ähnlich ist die Einrichtung der Karte Fig. 375, welche die isoklinischen Linien enthält. Für die mit $+1^\circ$, $+2^\circ$, $+3^\circ$ bezeichneten Curven dieser Karte ist die Inclination um 1, 2, 3° grösser, für die mit -2° , -3° bezeichneten aber ist sie um 1, 2, 3 Grad kleiner als die Inclination zu München, welche im Jahre 1852 $64^\circ 54'$ betrug.

Nach dieser Karte zufolge ist also die Inclination für 1852 zu Stralsund $68^\circ 54'$. Für Breslau ist sie nahe $1\frac{1}{2}$ Grad grösser, für Mainz ist sie etwas mehr als $1\frac{1}{2}$ Grad kleiner als für München.

Die dritte Karte endlich, Fig. 376 (S. 749), enthält die Curven gleicher horizontaler Intensität. Die durch München gehende Curve ist auch hier bezeichnet; auf den übrigen Curven ist die nach absolutem Maasse berechnete horizontale Intensität um den am Rande angegebenen Werth grösser oder kleiner als zu München. Die horizontale Intensität ist also

Fig. 374.

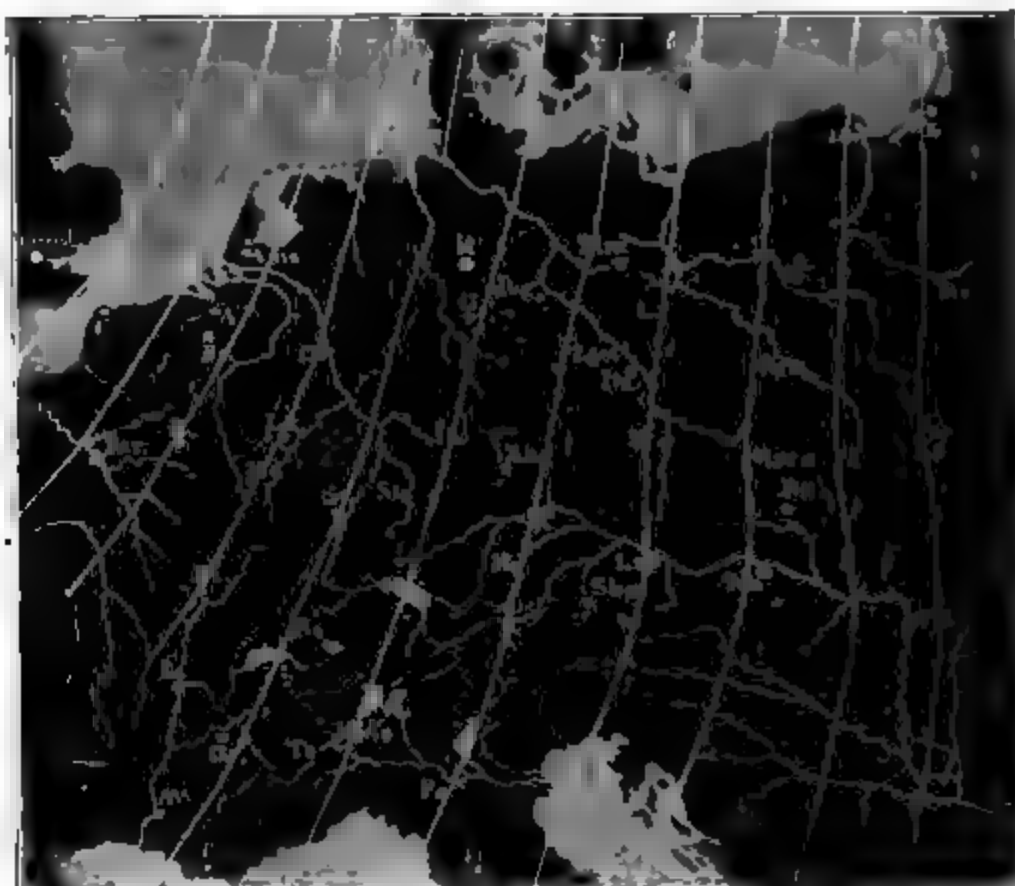
 $+6^{\circ} +5^{\circ} +4^{\circ} +3^{\circ} +2^{\circ} +1^{\circ} \quad 0 \quad -1^{\circ} -2^{\circ} -3^{\circ} -4^{\circ} -5^{\circ}$

 $+2^{\circ} \quad +1 \quad 0 \quad -1^{\circ} \quad -2^{\circ} \quad -3^{\circ} \quad -4^{\circ}$

Fig. 375.



aria, Frankfurt und Warschau um 0,10, zu Triest ist sie um 0,125
 er als zu München, wo sie im Jahre 1852 den Werth 1,9508

Fig. 376.



Ganz ähnlich ist nun auch die Einrichtung der von Lamont bear-
 teten magnetischen Karten von Bayern und dem südwestlichen Deutsch-
 jedoch beträgt die Declinationsdifferenz je zweier auf einander fol-
 enden Declinationscurven $10'$. Ebenso entsprechen die Intervalle der
 declinationskarte von Bayern einer Inclinationsänderung von 10 Minuten,
 den Intensitätskarten von Bayern entspricht der Intervall je zweier
 ineinander folgender Curven einer Aenderung der absolut horizontalen
 sität von 0,01.

Bei einem solchen Maassstab treten dann auch locale Störungen
 ich hervor. Während z. B. im Durchschnitt der Abstand je zweier
 shbarter Declinationscurven ungefähr 4 Meilen beträgt, rücken etwas
 ich von Karlsruhe die Curven $+ 1^{\circ} 50'$ und $+ 2^{\circ}$ bis auf 1 Meile
 ammen; dagegen rücken die Declinationscurven $+ 1^{\circ} 30'$ und $1^{\circ} 40'$
 darmstadt, welches zwischen denselben liegt, bis auf 8 Meilen aus-
 der. Eine ähnliche Erweiterung zeigt sich zwischen Bamberg und
 uth, und eine noch bedeutendere zwischen Salzburg und dem west-
 1 Ende des Chiemsees.

Die Inclinations- und Intensitätscurven zeigen die grössten Unregel-
 gkeiten in der bayerischen Pfalz, namentlich in der Nahe von Pir-
 112.

Es wäre in der That sehr zu wünschen, dass Lamont's Beispiel in anderen Ländern Nachahmung fände; solche magnetische Spezialkarten würden die sichersten Anhaltspunkte zur Construction magnetischer Erdkarten geben, wie sie denn überhaupt ein reichliches Material für fernere Untersuchungen über Erdmagnetismus bieten.

In seinen „Results of the magnetic survey of the colony of Victoria“ hat G. Neumayer magnetische Karten publicirt, welche die magnetischen Curven des südöstlichen Theiles von Australien für das Jahr 1864 darstellen.

Magnetische Karten von Nordamerika sind durch das Smithsonian Institution zu Washington publicirt worden.

263 Theorie des Erdmagnetismus. Die einfachste und älteste Hypothese, welche zur Erklärung der Erscheinungen des Erdmagnetismus aufgestellt wurde, ist die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus sei in der Erde so vertheilt, dass die Gesamtwirkung nach aussen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich sei. Dass eine solche Annahme sich mit den Beobachtungen nicht verträgt, sieht man auf den ersten Blick. Nach dieser Hypothese wären die magnetischen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieselbe von der verlängerten Axe des Centralmagnets getroffen wird; in diesen Polen müsste zugleich die Intensität ein Maximum sein; der magnetische Aequator wäre ein grösster Kreis, und alle isoklinischen Linien mit demselben parallel u. s. w. Tobias Mayer hat diese Hypothese durch modificirt, dass er den fingirten Magneten um den 7ten Theil des Erdhalbmessers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hairsteen versuchte, die Erscheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle diese Versuche gaben jedoch keine genügenden Resultate.

Gauss hat endlich einen anderen Weg eingeschlagen, indem er nicht, wie seine Vorgänger, von einer einfachen Hypothese über die magnetische Vertheilung in der Erde ausging und dann die Resultate dieser Hypothese mit der Erscheinung verglich, sondern er suchte gleich die Frage zu beantworten: wie muss dieser grosse Magnet beschaffen sein, um den Erscheinungen Genüge zu leisten?

Die Gauss'sche Theorie lässt sich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es sich hier darum handelt, das Zusammenwirken aller magnetischen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmässig vertheilt sind, in mathematischen Formeln darzustellen; wir müssen uns also darauf beschränken, die Grundideen dieser Theorie anzudeuten.

Die Grundlage der Gauss'schen Theorie ist die Voraussetzung, dass die erdmagnetische Kraft die Gesamtwirkung der magnetisirten Theile des Erdkörpers ist. Das Magnetisirtsein stellt er sich als eine Schichtung der magnetischen Flüssigkeit in der Weise vor, wie wir dies im Lehr-

der Physik, 7. Aufl. Bd. II., S. 7, entwickelt haben. Eine Vertauschung dieser Vorstellungsart mit der Ampère'schen würde in den Resultaten nichts ändern. Dies vorausgesetzt, wird die Gesammtheit aller magnetisirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine bestimmte Wirkung ausüben, und diese Wirkung wird von einem Punkte zum andern sich ändern müssen. Wir haben hier nur die Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächst ist demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Innern der Erde vertheilt sein mag, die Wirkung wird in verschiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieselbe sein, sie wird von der geographischen Länge und Breite des Ortes abhängen, den man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müssen sich also durch Gleichungen ausdrücken lassen, in denen die Länge und die Breite die veränderlichen Grössen sind; die Constanten dieser Gleichungen aber hängen von der Art und Weise ab, wie der freie Magnetismus in der Erde vertheilt ist.

Zunächst entwickelt Gauss auf diese Weise eine Gleichung für den Werth des magnetischen Potentials, einer Grösse, aus welcher sich die Werthe der nördlichen, westlichen und verticalen Componente der magnetischen Kraft und aus diesen dann wieder Declination, Inclination und totale Intensität leicht berechnen lassen.

Das magnetische Potential, welches also zunächst als eine willkürliche Hilfsgrösse für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat aber eine physikalische Bedeutung. Denken wir uns an irgend einer Stelle der Erdoberfläche eine verticale Röhre angebracht, deren Querschnitt 1 Quadratmillimeter beträgt, und diese Röhre bis zu einer Höhe, oberhalb welcher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmagnetischem Fluidum in der Weise gefüllt, dass jedes Cubikmillimeter dasselbe (nach der bekannten absoluten Einheit des Fluidums) enthält, so stellt uns das magnetische Potential den Druck dar, welchen der Boden dieser Röhre dadurch auszuhalten hat, dass der Erdmagnetismus die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetische Fluidum von dem Erdmagnetismus abgestossen werden würde, hat man die Röhre in gleicher Weise mit süd magnetischem Fluidum gefüllt zu denken.

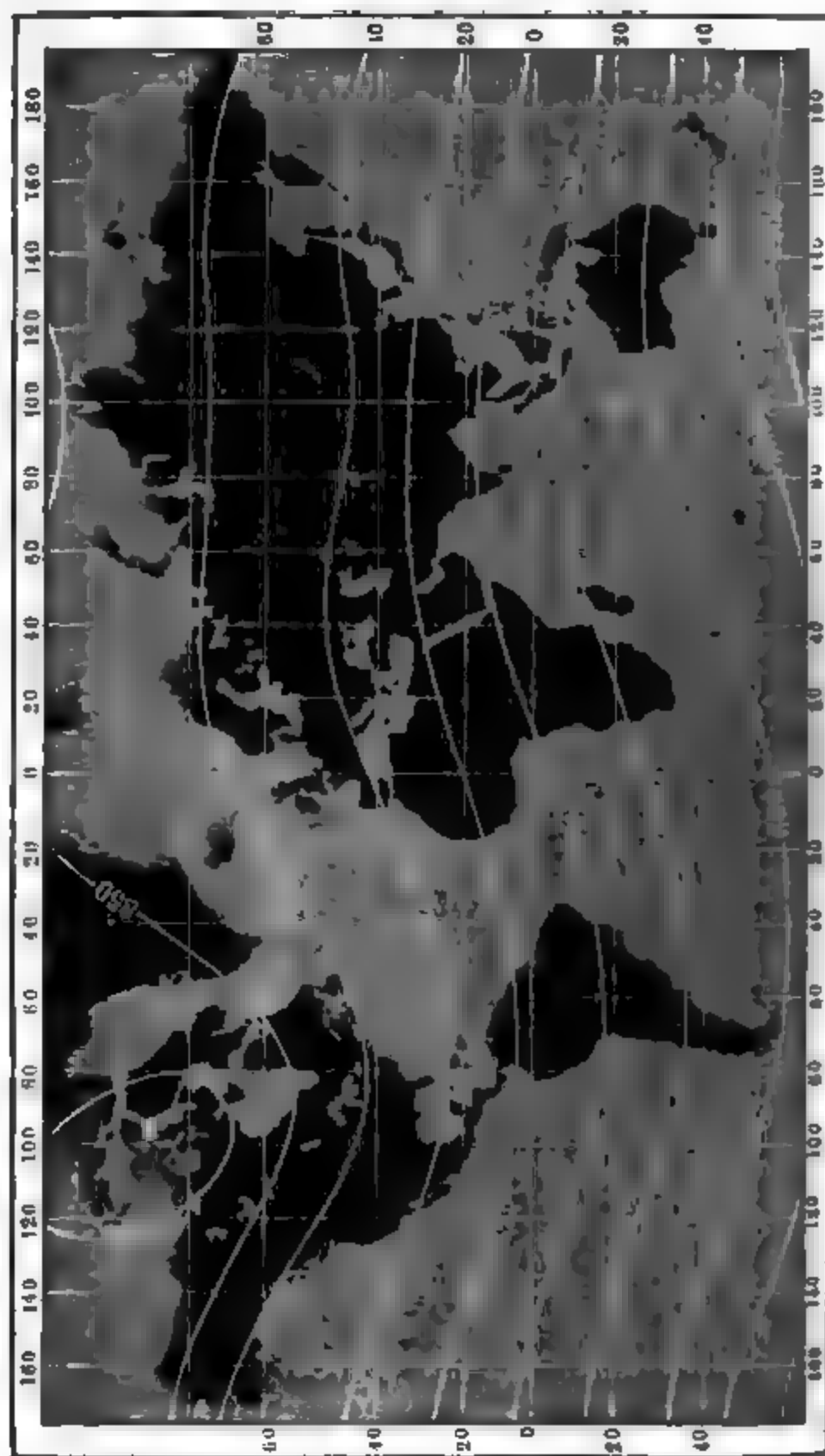
Auf den Karten Fig. 377, 378 und 379 (a. f. S.) sind die Linien gleicher Werthe des magnetischen Potentials dargestellt; die beigeschriebenen Zahlen beziehen sich nicht auf absolutes Maass, sondern auf eine willkürliche Einheit; sie können durch Multiplication mit 0,0034941 auf absolutes Maass reducirt werden.

Die Curven gleicher Werthe des magnetischen Potentials wollen wir Gleichgewichtslinien nennen.

Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergibt sich die Richtung der horizontalen Magnetnadel auf eine sehr einfache Weise, indem, wie wir schon gezeigt hat, die Richtung der Declinationsnadel stets rechtwink-

lig auf den Gleichgewichtslinien stehen muss. Aus dem Laufe der Curven kann man die Richtung der Boussole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine ungleich einfachere und übersichtlichere Weise ableiten als es mittelst der Declinationskarte möglich ist.

Fig. 377.

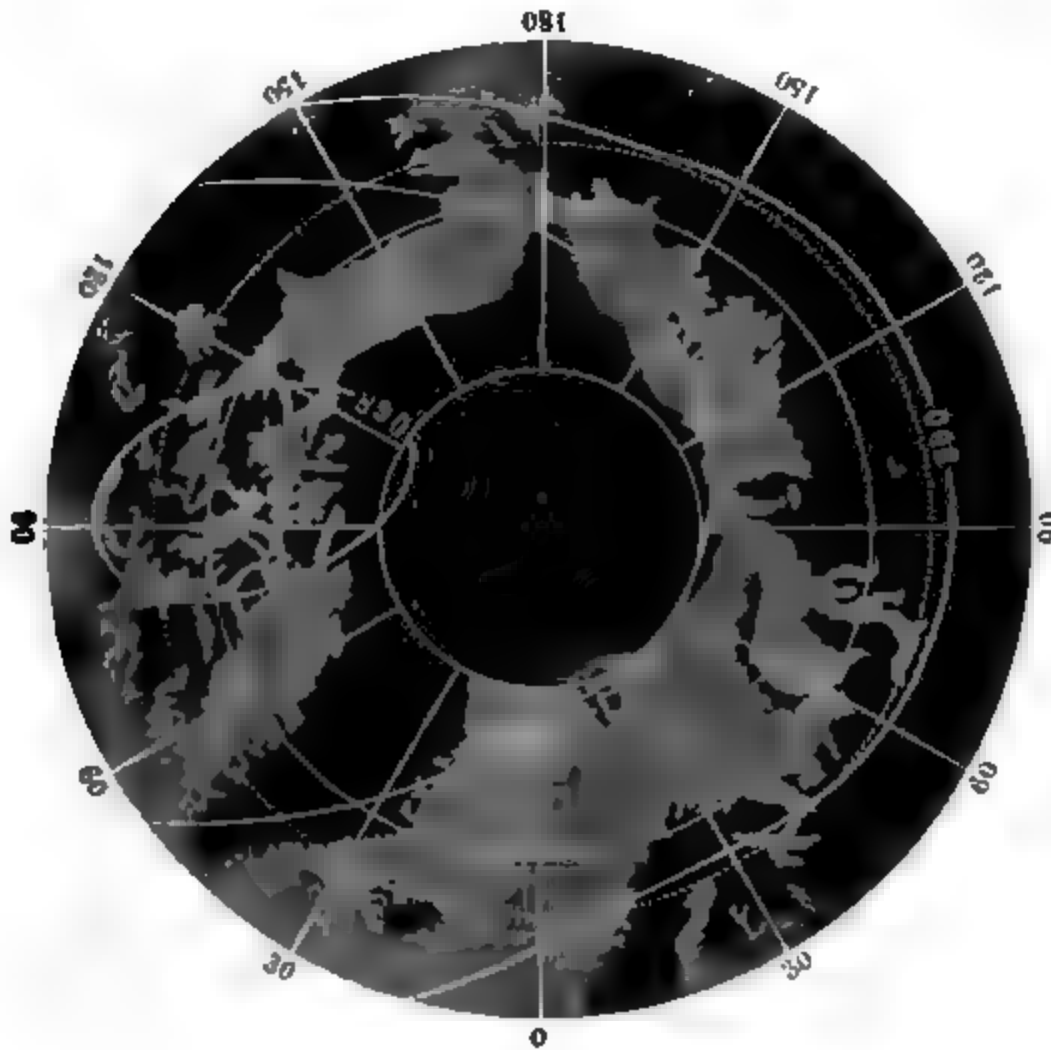


Zwischen den Werthen des magnetischen Potentials und der horizontalen Intensität findet folgende Beziehung Statt. Denken wir uns auf einer Karte nur solche Gleichgewichtslinien gezogen, welche gleich den Differenzen des magnetischen Potentials entsprechen, etwa nur ab

ren, welche den immer um 100 wachsenden Werthen des magnetischen Potentials entsprechen, so ist die horizontale Intensität der Entlangung der Gleichgewichtscurven umgekehrt proportional; die horizontale Intensität ist also für solche Gegenden am grössten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichtesten sind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entsprechender Curven auseinanderücken, desto kleiner wird die horizontale Intensität.

Aus der horizontalen Intensität ergibt sich leicht die nördliche und südliche Componente, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien die Richtung der horizontalen magnetischen Kraft bestimmt ist.

Fig. 378.



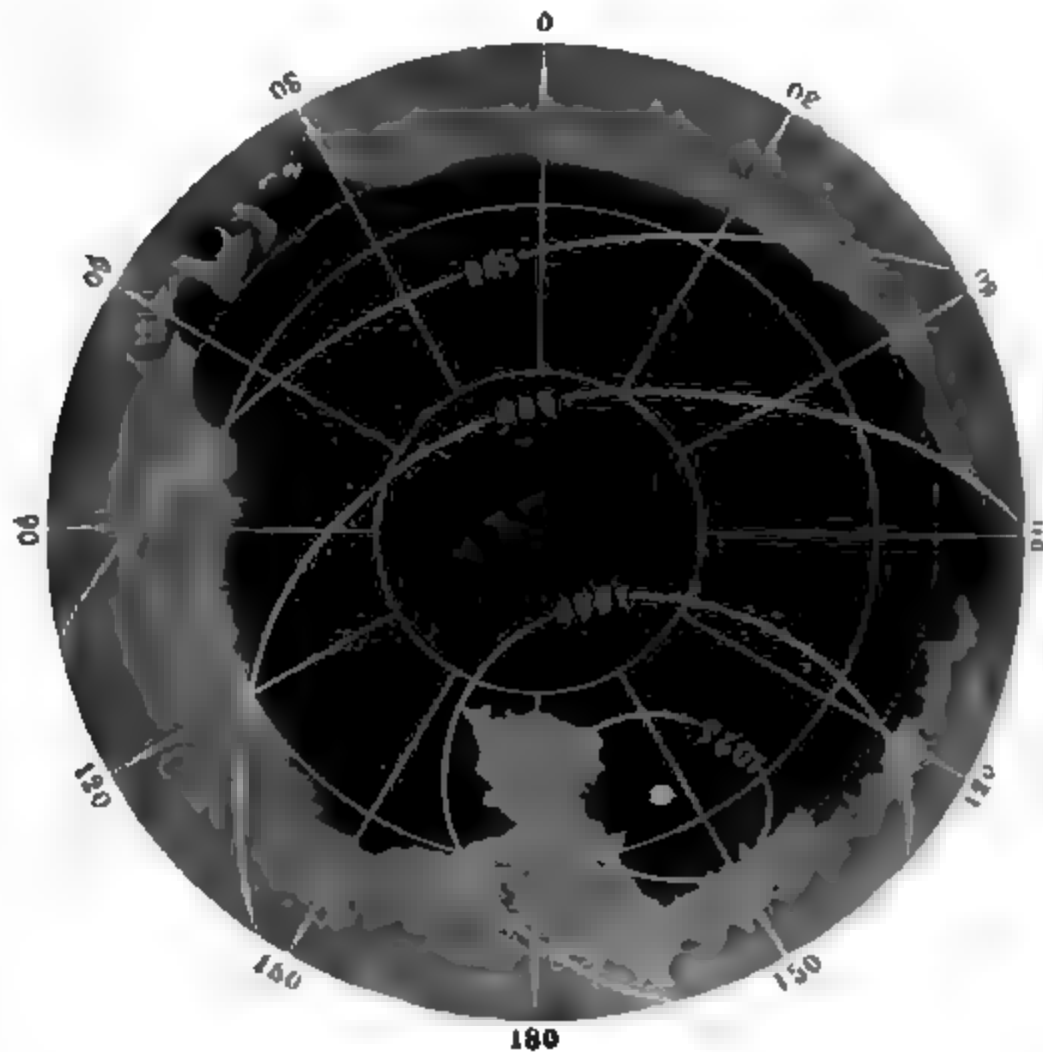
Aus den Werthen des magnetischen Potentials ergeben sich ferner die Werthe der verticalen Intensität, doch können wir diesen Zusammenhang hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erst die drei Componenten der erdmagnetischen Kraft bestimmt, so kann man auch noch leicht die Grösse und Richtung der ganzen Intensität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetische Potential und die Componenten der erdmagnetischen Kraft nur diejenigen Glieder noch berücksichtigt, welche mit den 4ten Potenzen der veränderlichen Grössen (Länge und Breite) behaftet sind, die höheren Potenzen aber vernachlässigt, so bleiben in den Werthen noch 24 constante Coefficienten zu bestimmen.

stimmen. Diese Coefficienten können wir nun nicht a priori aus der Vertheilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir ja noch nichts über die Art wissen, wie der freie Magnetismus vertheilt ist, da 24 Coefficienten müssen demnach durch die Combination von 24 verschiedenen Beobachtungen bestimmt werden. Die genaue Bestimmung der 3 Elemente des Erdmagnetismus an 8 verschiedenen Orten der Erdoberfläche würde also hinreichen, um die 24 Coefficienten zu ermitteln.

Sind einmal die constanten Coefficienten bekannt, so kann man aus den erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Componenten der er-

Fig. 379.



magnetischen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und die ganze Intensität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen. Man setzt für die Länge und Breite die diesem Ort entsprechenden Zahlenwerthe in die Gleichungen setzt.

Da es an einer hinlänglich genauen Bestimmung aller drei Elemente des Erdmagnetismus für acht weit genug von einander entfernte Orte der Erdoberfläche fehlt, so muss man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, als eigentlich zur Bestimmung der Coefficienten nöthig sind. Auf diese Weise werden sich für denselben Coefficienten mehrere verschiedene Werthe ergeben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinsten

adrate den wahrscheinlichsten Mittelwerth für jeden Coefficienten zu mitteln.

Die säcularen Variationen. Die Elemente des Erdmagnetis- 264
us für irgend einen Ort auf der Erdoberfläche sind keineswegs unver-
derliche Grössen, wie dies bereits im Lehrbuch der Physik besprochen
urde. Wie bedeutend sich die Declination ändert, ergibt sich z. B.
s der folgenden Tabelle:

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30' östl.	1814	22° 34' westl.
1618	8 "	1819	22 29 "
1663	0 "	1822	22 11 "
1770	8 10 westl.	1832	22 3 "
1780	19 55 "	1842	21 25 "
1805	22 5 "	1852	20 20 "

Man sieht aus dieser Tabelle, dass im Jahre 1580 in Frankreich die
clination noch eine östliche war, dass sie abnahm und im Jahre 1663
ll wurde; in jenem Jahre also zeigte die Declinationsnadel zu Paris
an nach Norden. Von jener Zeit an war die Declination zu Paris
e westliche, und zwar stets zunehmend bis zum Jahre 1814, wo die
stliche Declination zu Paris ein Maximum von 22° 34' erreichte. Seit
er Zeit nimmt die westliche Declination zu Paris wieder ab, und im
are 1852 betrug sie nur noch 20° 20'.

Solche, Jahrhunderte lang in gleichem Sinne fortdauernde Aende-
gen im Stande der Magnetnadel werden mit dem Namen der säcu-
-en Schwankungen bezeichnet. Man übersieht diese Veränderun-
a am besten, wenn man die magnetischen Karten verschiedener Zeiten,
B. die Declinationskarten von 1600 und 1860, mit denjenigen ver-
iedener Zwischenperioden vergleicht.

Mit dem Laufe der magnetischen Curven ändert sich natürlich auch
Lage der magnetischen Pole. Der magnetische Nordpol,
leher im Jahre 1600 ungefähr bei A, Fig. 367, lag, ist allmählig bis
vorgerückt.

Wie gross gegenwärtig die jährliche Aenderung der Declination für
utschland ist, ersieht man aus folgender Tabelle, welche nach Lamont
Declination zu München für den 1. Januar der folgenden Jahre
riebt:

1841	16° 57,5'	1847	16° 17,4'
1842	16 50,4	1848	16 10,3
1843	16 43,4	1849	16 2,5
1844	16 37,1	1850	15 53,9
1845	16 30,4	1851	15 49,4
1846	16 23,5	1852	15 40,1

also im Durchschnitt ungefähr eine Abnahme von 6¹/₂ Minuten im Jahr.
Begreiflicher Weise ist der Gang der säcularen Variationen der declination in verschiedenen Gegenden nicht derselbe. So erreichte die Declination auf dem Cap der guten Hoffnung erst im Jahre 1841 ihr westliches Maximum, während auf St. Helena noch gegenwärtig westliche Declination ungefähr um 8' jährlich zunimmt.

Man kann sich diese Differenzen wohl erklären, wenn man bedenkt, dass das Curvensystem im Allgemeinen gegenwärtig wenigstens nach Westen hin fortschreitet.

Aehnliche säculare Aenderungen zeigt auch die Inclination, wie aus folgender Tabelle sieht:

Inclination für Paris,

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75°	1820	68° 20'
1780	71 48'	1825	68 0
1806	69 12	1831	67 40
1814	68 36	1835	67 24

und gegenwärtig beträgt die Inclination nicht mehr ganz 67 Grad.
Wie gross gegenwärtig die jährliche Aenderung der Inclination ersieht man aus folgender Tabelle, welche nach Lamont die Werthe der Inclination zu München für den Anfang der nachgenannten Jahre angibt:

1841	65° 22,0'	1847	65° 7,0'
1842	65 19,5	1848	65 4,5
1843	65 17,0	1849	65 2,0
1844	65 14,5	1850	64 59,5
1845	65 12,0	1851	64 57,0
1846	65 9,5	1852	64 54,5

Die Abnahme der Inclination beträgt also in Deutschland ungefähr 2,3 Minuten im Jahre.

Auch die Variationen der Inclination halten in verschiedenen Gegenden keineswegs gleichen Gang. Während sich in Europa gegenwärtig das Nordende der Inclinationsnadel allmählig hebt, nimmt die unge-

o betragende südliche Inclination auf St. Helena ungefähr um 8 Minuten jährlich zu.

Was die Intensität anbelangt, so ist die Zeit, während welcher man diesem Element die nöthige Aufmerksamkeit gewidmet hat, zu kurz, um den Gang der säcularen Variationen desselben mit einiger Sicherheit zu übersehen. Die horizontale Intensität nimmt gegenwärtig in Deutschland zu, was aber wenigstens theilweise von der Abnahme der Inclination herrührt. Für München war die horizontale Intensität

Anfangs 1841	1,9300	Anfangs 1847	1,9417
" 1842	1,9339	" 1848	1,9432
" 1843	1,9373	" 1849	1,9437
" 1844	1,9374	" 1850	1,9523
" 1845	1,9374	" 1851	1,9549
" 1846	1,9397	" 1852	1,9508

Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, einen genügenden Grund für die säcularen Aenderungen der erdmagnetischen Constanten anzugeben.

Die täglichen Variationen. Die säcularen Aenderungen in 265
 Richtung der Magnetnadel gehen nicht in der Art vor sich, dass die Nadel sich ganz langsam und gleichförmig nach einer bestimmten Richtung hin fortbewegt, sondern die Magnetnadeln sind beständigen Schwankungen unterworfen, in welchen sich zunächst eine tägliche Periode ausspricht.

Was die Declination betrifft, so ist der Verlauf ihrer täglichen Variationen in Deutschland ungefähr folgender: Morgens um 8 Uhr hat die Declinationsnadel im Durchschnitt ihre östlichste Stellung; ziemlich früh bewegt sich nun ihr Nordende gegen Westen und erreicht zwischen 1 und 2 Uhr ihren westlichen Wendepunkt, um dann wieder nach Osten zu wandern, und zwar in den Nachmittags- und Abendstunden schnell, während der Nachtstunden langsamer.

Dieser Gang der Declinationsnadel wird durch die Curve Fig. 1 b. 23 anschaulich gemacht, welche den mittleren täglichen Gang der täglichen Variationen der Declinationsnadel zu Göttingen darstellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten den Variationen der Declination proportional, und zwar entspricht der Abstand zweier Verticalstriche einem Zeitintervall von 1 Stunde, während der Abstand zweier Horizontalen einer Winkeldifferenz von 1 Minute entspricht. — Am oberen Rande der Figur ist die Zeit nach bürgerlicher, am unteren Rande ist sie nach astronomischer Weise gezählt.

Ein Steigen der Curve entspricht einer nach Osten, ein Sinken entspricht einer nach Westen gerichteten Bewegung des Nordendes der Nadel.

Die Amplitude der täglichen Bewegung der Magnetnadel, d. h. der Winkel zwischen ihrem östlichsten und ihrem westlichsten Stande, ist

veränderlich, und zwar ist sie im Allgemeinen von der Jahreszeit abhängig; sie ist grösser im Sommer, kleiner im Winter. Folgendes sind die Mittelwerthe dieser Amplitude für die verschiedenen Monate in Göttingen:

Januar	6,7'	Juli	12,1'
Februar	7,4	August	13,0
März	11,0	September	11,8
April	13,9	October	10,3
Mai	13,5	November	6,9
Juni	12,5	December	5,0

Derselbe Gang der täglichen Variationen der Declination zeigt sich im Wesentlichen für alle Orte, welche nördlich vom magnetischen Aequator liegen, nur werden sie um so schwächer, je mehr man sich von dem Polargegenden aus dem magnetischen Aequator nähert, für welchen sie fast völlig verschwinden, um auf der Südhalfte der Erde in gleicher Weise, aber in entgegengesetzter Richtung aufzutreten, d. h. auf der südlichen Hemisphäre bewegt sich das Südende der Nadel zu denselben Tageszeiten nach Westen, in welchen auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel nach Westen geht.

Auch die Inclination ist Variationen von 24stündiger Periode unterworfen, und zwar ist sie im Durchschnitt um 10 Uhr Morgens am grössten und um 10 Uhr Abends am kleinsten.

Dieselben Wendestunden zeigen auch die täglichen Variationen der totalen Intensität, nur zeigt sich hier ein entgegengesetzter Gang, indem das Maximum der totalen Intensität im Durchschnitt Abends um 10 Uhr, das Minimum Morgens um 10 Uhr eintritt.

266 Magnetische Störungen. Wenn man die Declinationsnadel mit Sorgfalt beobachtet, so zeigt sich, dass sie im Laufe eines Tages keineswegs so stetig von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost geht, wie Tab. 23 Fig. 1 zeigt, welche ja nur als Durchschnittsresultat einer grossen Reihe von Beobachtungen gewonnen wurde. In diesem in Fig. 1 dargestellten normalen Gange der Declinationsnadel weichen die wirklichen Schwankungen in der Lage des magnetischen Meridians, wie sie an einzelnen Tagen beobachtet werden, mehr oder weniger ab. Ueberhaupt aber ist die Bewegung der freien magnetischen Nadel keineswegs eine gleichförmige, sondern sie geschieht immer mehr oder weniger stossweise, so dass der magnetische Meridian gewissermaassen bald nach Ost, bald nach West über seine Mittellage hin ausschwanke. Diese Bewegungen kann man als Störungen des normalen Ganges der Nadel bezeichnen.

Humboldt, welcher sich schon in den Jahren 1799 bis 1804 durch die Bestimmung der magnetischen Constanten in den Aequinoctialgegenden Amerikas grosse Verdienste um die Kenntniss des Erdmagnetismus erworben hatte, veranlasste zur genauen Erforschung der magnetischen

ungen, dass von 1828 bis 1830 zu Berlin, Freiberg, Nikolajew in Kasan an vorausbestimmten Tagen die Declinationsnadel stündlich beobachtet wurde, wobei sich ein merkwürdiger Parallelismus in der Bewegung der Nadeln verschiedener Orte herausstellte, der auch durch weitere Beobachtungen die vollste Bestätigung fand.

Einen grossartigen Aufschwung nahmen die erdmagnetischen Beobachtungen, nachdem Gauss durch Anwendung des Poggendorff'schen Regelapparats in seinem Magnetometer eine Vorrichtung construiert hatte, welche die geringsten Veränderungen in der Lage des magnetischen Meridians zu beobachten gestattete. Es wurden nun, von 1834 anfangend, an verschiedenen Orten Deutschlands und der benachbarten Länder nach demselben Princip construirte Apparate aufgestellt, um correspondirende Beobachtungen anzustellen, d. h. um an vorausbestimmten Terminen 24 Stunden lang die Variationen der Declinationsinstrumente von 5 zu 5 Minuten zu beobachten. Um die Beobachtungen genau gleichzeitig zu machen, wurde die Bestimmung getroffen, dass man überall nach Uhren beobachten sollte, welche nach Göttinger Zeit gerichtet sind. So entstand denn der von Gauss geleitete Verein, welchem im Jahre 1838 folgende Beobachtungsstationen gehörten:

Altona,	Genf,	London,
Augsburg,	Greenwich,	Mailand,
Berlin,	Haag,	Marburg
Breda,	Hannover,	München, !
Breslau,	Heidelberg,	Petersburg,
Brüssel,	Kopenhagen,	Prag,
Christiania,	Krakau,	Seeberg,
Dublin,	Kremsmünster,	Stockholm,
Freiberg,	Leipzig,	Upsala.

Die in den „Resultaten des magnetischen Vereins“ publicirten Terminsbeobachtungen bestätigten nun den schon erwähnten Parallelismus im Gange der an verschiedenen Orten aufgestellten Declinationsinstrumente, wie man dies wohl am besten aus der graphischen Darstellung der Terminsbeobachtungen sieht. So stellen denn die Fig. 2 und auf Tab. 23 die Terminsbeobachtungen von Upsala, Göttingen und Mailand vom 26. auf den 27. Februar und vom 28. auf den 29.

1841 dar, und zwar sind in diesen Figuren nur die von Stunde zu Stunde gemachten Beobachtungen eingetragen, während die graphischen Darstellungen des magnetischen Vereins, in ungleich grösserem Maassstabe ausgeführt, die Resultate der von 5 zu 5 Minuten angestellten Beobachtungen vollständig wiedergeben.

Die 24 Stunden dauernden Terminsbeobachtungen beginnen um 10 Abends.

Die oberste Curve gilt für Upsala, die mittlere für Göttingen, die unterste für Mailand.

Der Maassstab der Fig. 1 auf Tab. 24 und 25 ist derselbe wie der Maassstab der Fig. 2 und 3 der Tab. 23, und alle zum Verständniss der Tab. 23 gegebenen Erläuterungen gelten auch für diese Figuren.

Es versteht sich wohl von selbst, dass im Lauf einer Stunde der Gang der Declinationsnadel nicht etwa ein gleichförmiger ist, wie es in unseren Figuren die geraden Linien andeuten, welche je zwei auf einander folgende Beobachtungspunkte mit einander verbinden, sondern dass in der Zwischenzeit die Nadel gleichfalls nach der einen und anderen Seite ihres mittleren Ganges ausschlägt. Diese in kürzeren Zeitintervallen auftretenden Oscillationen können natürlich in den stündlichen Beobachtungen nicht wahrgenommen und in einer Zeichnung nicht ausgedrückt werden, welche nur nach den stündlichen Beobachtungen construirt ist.

Man sieht aus diesen Darstellungen, dass die Störungen in der Regel von der Art sind, dass sie den mittleren täglichen Gang noch deutlich hervorheben, dass also die Störungen als Oscillationen um den mittleren Gang der Declination auftreten. Diese nicht periodischen Schwankungen ändern sich nun von einem Tage zum anderen; an dem einen Tage sehr bedeutend, sind sie am anderen wieder sehr gering.

Im Allgemeinen fallen die Störungen der Declination um so bedeutender aus, je mehr man sich den Polargegenden nähert. So ging z. B. am 26. Februar 1841, Morgens von 3 bis 4 Uhr, die Declinationsnadel zu Upsala ungefähr um $12'$, zu Göttingen nahe um $8'$, zu Mailand um etwas über $5'$ nach Westen.

Die Terminszeichnungen Fig. 2 und 3 auf Tab. 23 liefern nun auch eine anschauliche Bestätigung der bereits oben schon ausgesprochenen Thatsache, dass die Störungen im Allgemeinen nicht localen Ursachen zugeschrieben werden können, indem dieselbe Schwankung in gleicher Richtung fast gleichzeitig an allen Orten derselben Hemisphäre eintritt, welche nahezu gleiche geographische Länge haben.

Auch ausserhalb Europa wurden nun bald durch die Unterstützungen verschiedener Regierungen, namentlich der englischen und russischen, magnetische Observatorien errichtet, wo nach demselben Plane beobachtet werden sollte, so namentlich zu Algier, Barnaul (Sibirien), Bombay, Cambridge (Nordamerika), Cap der guten Hoffnung, Madras, Nertschinsk, Philadelphia u. s. w. Dadurch wurde es nun möglich, auch die Störungen der südlichen Hemisphäre mit denen der nördlichen und die nicht periodischen Schwankungen östlicher gelegener Orte mit den gleichzeitigen Schwankungen weit nach Westen hin liegender zu vergleichen.

Fig. 1 Tab. 24 stellt die Terminsbeobachtungen der Declination vom 27. und 28. August 1841 zu Upsala, Göttingen, Mailand und dem Cap der guten Hoffnung dar. Die drei oberen Curven bestätigen, wie bereits über die Curven Fig. 2 und 3 Tab. 23 gesagt worden ist, die unterste Curve aber zeigt, dass die Störungen auf der südlichen Hemisphäre

in fast vollkommenem Gegensatz zu den Schwankungen stehen, die gleichzeitig an Orten der nördlichen Halbkugel stattfinden, die die gleiche geographische Länge haben.

Für verschiedene Orte, welche nahezu gleiche geographische Breite, verschiedene Länge haben, zeigt sich gleichfalls ein Zusammenhang der Störungen, aber in anderer Weise. Wenn zu irgend einer Zeit an einem bestimmten Orte eine besonders starke Störungsschwankung auftritt, so wird sie nach Ost und nach West hin in gleicher Richtung, mit abnehmender Stärke auftreten; 90° östlich und 90° westlich von dem Orte, wo die Schwankung im Maximum auftritt, wird in demselben Orte gar keine oder nur eine unbedeutende Schwankung beobachtet, in der anderen Hälfte des Parallels aber haben die gleichzeitigen Störungsschwankungen eine entgegengesetzte Richtung, und zwar zeigt sich das östliche Maximum 180° von dem Punkte entfernt, wo gerade das westliche Maximum auftritt.

Es wird dies gleichfalls sehr gut durch die Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841 erläutert, nach welchen in Fig. 1 und 2 der gleichzeitige Gang der Declinationsnadel für Toronto (am Huron-See), Göttingen und Nertschinsk dargestellt ist. Die mittlere der drei Curven, welche für Göttingen gilt, haben wir bereits in Fig. 1 und 2 kennen gelernt. Die oberste der drei Curven gilt für Toronto, die unterste für Nertschinsk. Toronto und Nertschinsk sind ungefähr 80° Längengrade von einander entfernt und Göttingen liegt nahezu gleichweit von beiden entfernt.

Hier sehen wir nun, dass während der bedeutenden Schwankungen, die zu Göttingen zwischen dem 27. August 10 Uhr Abends und dem 28. August 2 Uhr Morgens stattfanden, die Declinationsnadel zu Toronto und Nertschinsk nur eine unbedeutende Bewegung zeigte; während am folgenden Tage zu Göttingen zwischen 10 und 12 Uhr Vormittags die Declinationsnadel ziemlich ruhig dem normalen Gange folgte, zeigten wir zu Toronto und Nertschinsk bedeutende Schwankungen ein, und zwar zu Nertschinsk in entgegengesetzter Richtung wie zu Toronto.

Fig. 2 auf Tab. 24 stellt in grösserem Maassstabe als die letzten Figuren den gleichzeitigen Gang der Declinationsstörungen dar, wie sie am 3. Februar von 6 bis 10 Uhr Abends (Göttinger Zeit) zu Upsala und Alten in Finnmarken durch Lottin, Bravais und Martins beobachtet wurden; die obere Curve gilt für Alten, die untere für Upsala.

Man sieht hier auf den ersten Blick, dass die schöne Uebereinstimmung, welche stets in den Variationen von Catania in Sicilien bis zu Alten gefunden wurde, weiter nach Norden aufhört, so dass man bei Vergleichung der Curven von Alten und Upsala, trotz der verhältnissmässig geringen Entfernung beider Orte kaum erkennen würde, dass sie auf denselben Termin beziehen. Aehnliche Resultate liefern auch

andere Beobachtungen. Ueberhaupt sind die Störungen in den Polar-gegenden ausserordentlich gross und von gänzlich veränderter Gestalt.

Die Inclination und die Intensität sind ähnlichen Störungen unterworfen, wie die Declination.

267 Ursache der magnetischen Störungen. Was den Zusammenhang der magnetischen Störungen mit anderen Naturerscheinungen betrifft, so vermuthete man, dass wohl Gewitter einen Einfluss auf die Magnetnadel ausüben müssten. — Diese Erwartung hat sich nicht bestätigt, genaue Beobachtungen haben gezeigt, dass die Magnetnadel selbst durch die heftigsten Gewitter nicht afficirt wird. So beobachtete z. B. Lamont im Jahre 1842 das Magnetometer gerade in dem Augenblicke, wo der Blitz in der Nähe des Observatoriums auf freiem Felde einschlug, ohne dass er eine auffallende Bewegung der Nadel wahrnehmen konnte.

Anders verhält es sich mit Erdbeben und vulcanischen Ausbrüchen, welche älteren und neueren Beobachtungen zufolge meist von bedeutenden magnetischen Störungen begleitet sind. So sah Bernouilli im Jahre 1767, dass während eines Erdbebens die Inclination um 1° Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, dass die Declination um mehrere Grade variirte.

Am 18. April 1842 um 9 Uhr 10 Minuten beobachtete Kreil in Prag gerade das Declinationsinstrument, als die Nadel plötzlich einen so starken Stoss erhielt, dass die Scala über das Gesichtsfeld des Fernrohrs hinausfuhr. Dieselbe Oscillation wurde in demselben Augenblicke und zwar in gleicher Richtung auch von Cella in Parma und von Lamont in München beobachtet, und kurze Zeit darauf erfuhr man, dass in derselben Minute in Griechenland ein heftiges Erdbeben stattgefunden hatte.

In einem sehr innigen Zusammenhange mit den magnetischen Störungen stehen auch die Nordlichter, welche wir in den folgenden Paragraphen besprechen wollen.

Ueber die Ursache der magnetischen Störungen lässt sich nicht wohl eher eine zuverlässige Ansicht gewinnen, als man weiss, wo man eigentlich den Sitz der erdmagnetischen Kräfte zu suchen habe. Geleitet durch die Unregelmässigkeiten im Verlauf der magnetischen Curven, welche bereits auf Seite 749 erwähnt wurden, hat es Lamont höchst wahrscheinlich gemacht, dass der Sitz des Erdmagnetismus in einem compacteren Kerne zu suchen sei, welcher sich unter der weniger dichten Erdrinde befindet, auf welcher wir leben.

Da wir nun aber wissen, dass das Innere der Erde sich in feurig-flüssigem Zustande befindet, so besteht demnach die feste Erdrinde aus zwei Schichten; einer weniger dichten, unter der sich dann eine compactere befindet, welche der Sitz des Erdmagnetismus ist. Diese magnetische Schicht, welche man sich als eine metallische, oder mit zahlreichen Adern von Eisen durchzogene vorstellen kann, ist im Allgemeinen eben-

als von kugelförmiger Gestalt, aber sie ist, wie die äussere Erdoberfläche, mit mehr oder minder beträchtlichen Erhöhungen versehen. An solchen Stellen unserer Erdoberfläche nun, welche gerade über den höchsten Gipfeln dieser unterirdischen magnetischen Gebirge liegen, wird offenbar der Erdmagnetismus stärker vortreten und es ist somit klar, dass die noch unbekannte Lage dieser magnetischen Hervorragungen einen wesentlichen Einfluss auf den Lauf der magnetischen Curven haben muss.

Nach dieser Hypothese begreift man nun sehr gut, dass Erdbeben und namentlich Ausbrüche von Vulkanen stets von mehr oder weniger starken magnetischen Störungen begleitet sein müssen, denn bei jedem Ausbruche eines Vulcans muss diese magnetische Kruste durchbrochen werden, und bei jedem Erdbeben erleidet dieselbe mehr oder weniger bedeutende Erschütterungen.

Die magnetischen Störungen, welche wir in den letzten Paragraphen besprochen haben, beweisen, dass der magnetische Zustand dieser magnetischen Schicht keineswegs unverändert derselbe bleibt, dass er vielmehr mannigfachen Variationen unterworfen ist, welche theils allmählig vor sich gehen, und von welchen die secularen Schwankungen herrühren, theils aber auch an eine tägliche Periode gebunden sind. Diese periodischen Variationen gehen aber nicht stetig vor sich, sondern es finden stets stossweise Schwankungen um den mittleren magnetischen Zustand statt.

Am einfachsten kann man sich von diesen Variationen und Schwankungen Rechenschaft geben, wenn man den Erdmagnetismus von elektrischen Strömen ableitet, welche den fraglichen Kern in stets veränderlicher Stärke und Richtung durchziehen. Die tägliche Periode der magnetischen Variationen scheint aber darauf hinzudeuten, dass wir hier mit thermo-elektrischen Strömen zu thun haben.

Das Nordlicht. In den winterlichen Gegenden jenseits des nördlichen Polarkreises, wo die Sonne je nach der grösseren geographischen Breite um die Zeit des Wintersolstitiums Wochen und Monate lang unter dem Horizonte steht, werden die langen Nächte häufig durch die prachtvolle Erscheinung des Nordlichtes (*Aurora borealis*) erhellt, dessen eigentliches Wesen uns noch räthselhaft ist, und welches hier in diesem Capitel nur deshalb abgehandelt wird, weil dasselbe, wie wir bald sehen werden, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus steht. 268

Je weiter man sich vom Pole entfernt, desto seltener und desto weniger brillant wird die Erscheinung des Nordlichtes. Die letzten ausgezeichneten Nordlichter, welche man in Deutschland zu beobachten Gelegenheit hatte, sind die vom 7. Januar 1831, vom 18. October 1836 und vom 25. October 1870.

Die Erscheinung dieser Nordlichter, namentlich des vom Jahre 1831, stimmt im Wesentlichen mit der Darstellung auf Tab. XXVII überein. Es ist dies die Copie eines schönen Bildes, welches der durch seine nor-

wegischen Landschaften rühmlichst bekannte Maler August Becker von Darmstadt ausgeführt hat. Diese Darstellung veranschaulicht den Grundtypus der häufigsten Form, in welcher in Deutschland sowohl wie auch im südlichen Schweden und Norwegen die Nordlichter beobachtet werden.

Den gleichen Grundcharakter trägt auch die Abbildung eines in Loch Leven in Schottland beobachteten Nordlichtes, welche in der Schlussvignette dieses Capitels wiedergegeben ist.

In der Erscheinung des Nordlichtes findet eine grosse Mannigfaltigkeit Statt, und um diese dem Leser vorzuführen, dürfte es wohl am geeignetsten sein, die Beschreibung naturkundiger Männer anzuführen, welche das Nordlicht in höheren Breiten in seiner ganzen Pracht und Herrlichkeit zu beobachten Gelegenheit hatten.

Nach den von Argelander in Abo gemachten Erfahrungen verkündigt ein eigenthümliches, schmutziges Ansehen des nördlichen Himmels in der Nähe des Horizontes dem aufmerksamen und geübten Beobachter schon im Voraus das Erscheinen eines Nordlichtes. Bald wird die Farbe dunkler und es zeigt sich ein Kreissegment von geringer oder grösserer Ausdehnung mit einem leichten Saume eingefasst. Dieses Segment hat vollkommen das Aussehen einer dunklen Wellenbahn. Eben dieses sagen auch andere Beobachter. Dieses dunkle Segment ist auch von solchen Beobachtern in Deutschland gesehen worden, welche auf das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 frühzeitig genug aufmerksam wurden. In sehr hohen Breiten ist dieses Segment ganz unmerklich.

Auch Mairan in seinem „*Traité des Aurores boreales*“, Paris 1744, sagt, dass die grossen Nordlichter kurz nach dem Ende der Dämmerung beginnen und dass man dann gegen Norden hin einen ziemlich dunklen Nebel wahrnimmt. Dieser Nebel nimmt dann die Gestalt eines Kreissegmentes an, welches sich zu beiden Seiten auf den Horizont stützt. Der sichtbare Theil des Umfanges wird darauf von einem weissen Lichte gesäumt, aus welchem ein oder mehrere Lichtbogen entstehen. Von dann endlich noch die verschiedenfarbigen, von dem dunklen Segment ausgehenden Strahlen kommen.

Manchmal, wenn auch sehr selten, erscheint das dunkle Segment in der Nähe des Randes symmetrisch durchbrochen, so dass man gleichsam eine Feuersbrunst durch die Oeffnungen wahrzunehmen glaubt. (Fig. 380 (a. f. S.)). Dieses eigenthümliche Meteor hat Mairan selbst am 19. October 1726 zu Brunnelle-Pont beobachtet.

Durch dieses dunkle Segment hindurch kann man die helleren Sterne mit blossem Auge sehen, eine Thatsache, welche bereits von älteren Beobachtern berichtet und auch von neueren bestätigt worden ist. So sah z. B. Kries in Gotha und Gerling in Marburg bei dem Nordlicht vom 7. Januar 1831 α lyrae hell durch das dunkle Segment strahlen.

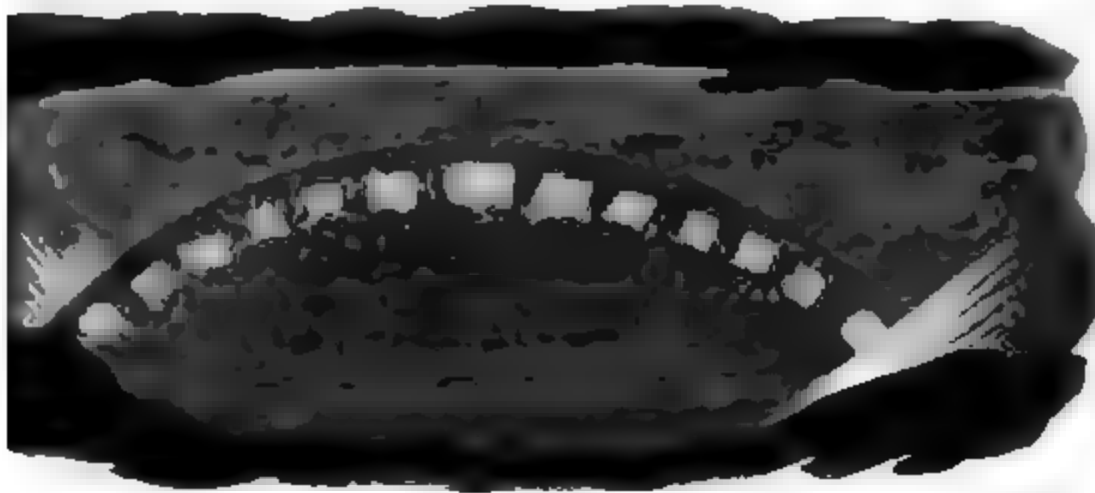
Das eigentliche Wesen dieses dunklen Segments wird namentlich durch den zuletzt angeführten Umstand sehr räthselhaft; Einige, z. B. Struve, sind geneigt, es nur durch den Contrast zu erklären. In-

iderspricht aber die Thatsache, dass das Segment schon in der
ng sichtbar wird, ehe noch eine Lichtentwicklung des Nord-
tritt, und somit muss man wohl mit Argelander hier das
er wirklichen Materie annehmen.

unkle Segment wird von einem meist bläulichweissen hellen
n gesäumt, dessen Breite zwischen 1 bis 6 Vollmondbreiten
. Ebenso verschieden wie die Breite ist auch die Ausdehnung
es, welche zuweilen nur 25 bis 30, zu anderen Zeiten bis nahe
beträgt, wonach dann auch die Höhe über dem Horizonte sehr
en ausfällt.

untere Rand dieses Bogens ist scharf begränzt, der obere nur,
sehr schmal ist; wenn er breiter ist und verwaschen erscheint,

Fig. 380.



itet er ein lebhaftes Licht und erhellt den ganzen Himmel eben
wie der Vollmond eine halbe Stunde nach seinem Aufgange.

sehr lebhaften Nordlichtern zeigen sich oft mehrere concentrische
n.

n der Lichtbogen einmal gebildet ist, so bleibt er oft mehrere
ang sichtbar, er ist aber dabei in beständiger Bewegung. Er
senkt sich, er dehnt sich aus nach Ost und nach West, er wird bald
lort zerrissen. Diese Bewegungen werden besonders bemerklich,
. Nordlicht sich ausdehnt und Strahlen zu schiessen beginnt.
n wird nun an irgend einer Stelle leuchtender und beginnt
zu schiessen, welche unten gleichsam in das dunkle Segment
. Die Breite dieser hell leuchtenden Strahlen ist ungefähr dem
londdurchmesser gleich. Solche Strahlen schiessen mit der
zeit eines Blitzes empor, theilen sich oben; sie werden bald
ld kürzer, bewegen sich bald nach Ost, bald nach West, und
sich wie ein vom Winde bewegtes Band. Wenn diese in stetem
ler Form, der Lage und des Glanzes befindlichen Strahlen sehr
en, so erscheinen sie bald in grünlichem, bald in tief rothem
Wenn die Strahlen kurz sind, so hat der Lichtbogen das An-
s gezahnten Kammes.

Oefters ereignet es sich, dass die leuchtenden Strahlen, welche von allen Theilen des östlichen, nördlichen und westlichen Horizontes auflodern, bis über den Scheitel des Beobachters hinaus aufschliessen und dann durch ihre Vereinigung eine glänzende Krone bilden, deren Mittelpunkt wenigstens im nördlichen Europa noch einige Grade südöstlich vom Zenith liegt. Bestimmt man die scheinbare Lage dieser Krone mit Hülfe eines astronomischen Instrumentes oder durch die Beobachtung der Sterne, die sich bei ihrem Entstehen in jener Gegend zeigen, so findet sich, dass der Mittelpunkt der Krone durch diejenige Stelle des Himmels gebildet wird, nach welcher das obere Ende einer im magnetischen Meridian frei beweglichen Inclinationsnadel hinweist.

Leider fehlen uns gute Abbildungen dieser in der Nähe des Zeniths sich bildenden Nordlichtskrone gänzlich; mir ist wenigstens keine solche bekannt. Es wäre in der That sehr zu wünschen, dass Naturforscher und Maler, welche Gelegenheit haben, diese nur in höheren Breiten sich zeigende Form des Nordlichtes zu beobachten, davon getreue Zeichnungen entwerfen und veröffentlichen möchten, um es auch solchen Freunden der Naturforschung zur Anschauung zu bringen, welchen es nicht vergönnt ist, dieses herrliche und seltene Phänomen selbst zu sehen.

Gehen wir nun zu der Beschreibung über, welche namhafte Naturforscher von den durch sie beobachteten Nordlichtern gegeben haben.

269 Beschreibung eines von Biot beobachteten Nordlichtes
Am 7. August 1817 hatte Biot Gelegenheit, auf den Shetländischen Inseln ein grosses Nordlicht zu beobachten, von welchem er folgende Beschreibung giebt:

„Man erblickte zunächst in Nordost einige schmale Lichtstrahlen, die nicht hoch über den Horizont hinaufstiegen, und nachdem sie eine Zeitlang da gestanden hatten, verlöschten. Nach anderthalb Stunden erschienen sie wieder in derselben Himmelsgegend, aber viel stärker, glänzender und ausgedehnter. Bald fingen sie an, über dem Horizonte einen regelmässigen Bogen nach Art des Regenbogens zu bilden. Anfangs war der Umkreis desselben nicht vollendet, aber nach und nach nahm er an Oeffnung und Weite zu, und nach einigen Augenblicken sah ich von Westen her die andere Hälfte ankommen, die sich in einem Augenblicke erhob, begleitet von einer Menge leuchtender Strahlen, die von allen Seiten des nördlichen Horizontes hinzuliefen. Dieser Bogen war anfangs schwankend und unentschieden, als habe sich die Materie, die ihn bildete, noch nicht fest und bleibend geordnet; aber bald kam er zur Ruhe und erhielt sich dann in seiner ganzen Schönheit über eine Stunde lang, wobei er nur eine fast unmerklich fortschreitende Bewegung nach Südost hatte, als wenn ihn der schwache Nordwestwind, welcher damals wehte, dorthin führte. Ich hatte daher volle Zeit, ihn mit ~~Muse~~ zu betrachten, und seine Lage mit dem Repetitionskreise, welcher ~~zu~~ zu astronomischen Beobachtungen dient, zu bestimmen. Er umspannte

einen Bogen des Horizontes von $128^{\circ} 42'$ und sein Mittelpunkt befand sich genau im magnetischen Meridian. Der ganze Himmelsraum, den dieser grosse Bogen nach Nordwest zu begränzte, wurde unaufhörlich von leuchtenden Strahlen durchfurcht, deren verschiedene Gestalten, Farben und Dauer meinen Geist nicht weniger als meine Augen beschäftigten.“

„Gewöhnlich war jeder dieser Strahlen, wenn er anfang zu erscheinen, ein blosser Strich weisslichen Lichtes; schnell aber nahm er an Grösse und an Glanz zu, wobei er manchmal sonderbare Veränderungen in Richtung und Krümmung zeigte. Hatte er seine vollkommene Entwicklung erreicht, so verengte er sich zu einem dünnen, geradlinigen Faden, dessen in der Regel äusserst lebhaftes und glänzendes Licht von sehr bestimmter rother Farbe war, dann allmählig schwächer ward und endlich erlosch, häufig genau an der Stelle, wo der Strahl angefangen hatte zu erscheinen. Dass eine so grosse Menge Strahlen fortdauert, jeder an seinem scheinbaren Orte, während der Glanz derselben unendlich viele Abwechselungen erleidet, scheint zu beweisen, dass das Licht dieser Strahlen kein reflectirtes, sondern eigenes Licht ist, und sich an dem Orte selbst entwickelt, wo man es sieht; auch habe ich darin nicht die geringste Spur von Polarisation entdecken können, welche das reflectirte Licht charakterisirt.“

„Alle diese Strahlen und der Bogen selbst befanden sich in einer grösseren Höhe als die Wolken, denn diese bedeckten sie von Zeit zu Zeit, und die Ränder der Wolken schienen von ihnen erhellt zu sein. Auch der Mond, welcher damals hoch über dem Horizonte stand, erleuchtete dieses erhabene Schauspiel, und die Ruhe seines Silberlichtes bildete den sanftesten Contrast mit der lebhaften Bewegung der glänzenden Strahlengarben, mit welchen das Meteor die Luft übergoss.“

Beschreibung des grossen Nordlichtes von 1836. Bes- 270
 sel giebt von dem schönen Nordlichte, welches am 18. October 1836 erschien, folgende Beschreibung: „Bald nach dem Untergange der Sonne zeigte sich, westlich von Norden, eine Helligkeit des Himmels, welche man einem Nordlichte zuschreiben konnte, zumal da ihre Mitte etwa in der Richtung des magnetischen Meridians lag, und da einige Tage vorher auch Nordlichter erschienen waren. Denn die Nordlichter haben meistens ihren Mittelpunkt in dieser Richtung, und es ist nicht ungewöhnlich, dass sie sich in kurzer Zeit wiederholen. Das erste Nordlicht, welches ich in diesem Herbste gesehen habe, war am 11., ein zweites erschien am 12. October. Jenes gehörte zu den schöneren, indem es häufige Strahlen über den Polarstern hinauftrieb; dieses erhob sich nur wenig über den Horizont und zeigte keine Strahlen. Das am 18. October erscheinende entwickelte sich so vollständig, dass es wenigstens für unsere Gegenden zu den sehr seltenen Erscheinungen gehört, und an die schöne Beschreibung von Maupertuis erinnert, den die Nordlichterpracht in Tornea entzückte, als er sich, jetzt gerade vor 100 Jahren, daselbst be-

fand, um eine denkwürdige wissenschaftliche Unternehmung rühmlich auszuführen.

„Unser Nordlicht zeigte zunächst einen röthlichen Schimmer, welcher mehrere Theile des nördlichen Himmels bedeckte, aber wenig lebhaft und von kurzer Dauer war. Dann strömte die Gegend um seinen Mittelpunkt herum häufige Strahlen aus, welche, wie es bei Nordlichtern gewöhnlich ist, in wenigen Augenblicken entstanden, fast bis zu dem Scheitelpunkte aufschossen, wieder verschwanden und durch neue ersetzt wurden. Diese Strahlen sind geraden Kometenschweiften durchaus ähnlich; oft drängen sich so viele zusammen, dass sie an die geraden Bäume eines dichten Tannenwaldes erinnern; ihr Licht pflegt nicht so lebhaft zu sein, dass so heller Mondschein, als der des 18. October war, die Schönheit ihres Anblickes und ihrer fortwährenden Aenderungen nicht beeinträchtigen sollte.

„Bis hierher war die Erscheinung von der des 11. October und von denen, die sich in diesen Gegenden zu gewissen Zeiten nicht selten zeigen, nicht wesentlich verschieden. Allein um 7 $\frac{1}{4}$ Uhr erschienen zwei Strahlen, welche sich sowohl durch ihre Lebhaftigkeit als auch durch die Himmelsgegenden, wo sie sich befanden, auszeichneten. Beide entstanden an entgegengesetzten Punkten des Horizontes, der eine etwa 15 Grad nördlich von Osten, der andere eben so weit südlich von Westen. Sie schossen in Richtungen aufwärts, welche südlich von dem Scheitelpunkte vorbeiging. Sie hatten die Helligkeit hoher weisser, durch starken Mondlicht erleuchteter Strichwolken. Man sah deutlich, dass die Ausströmung, welche sie erzeugte, kräftig unterhalten wurde, denn ihre Verlängerungen und Verkürzungen waren gross und schnell. Als diese Strahlen kaum entstanden waren, zeigte sich an dem nördlichen Rande jedes derselben ein Auswuchs; beide Auswüchse verlängerten sich und näherten ihre Enden, so dass sie bald zusammenstiessen und nun einen Bogen bildeten, welcher beide Strahlen mit einander verband, und dessen höchster Punkt etwa 30 Grad nördlich von dem Scheitelpunkte lag. Dieser Bogen erschien, so wie die Strahlen, von welchen er ausging, in lebhaftem weissen Lichte, und würde vermuthlich einen noch weit schöneren Anblick gewährt haben, wenn nicht der Mond seinen Glanz geschwächt hätte. Indessen blieb er nicht lange Zeit in seiner anfänglichen Lage; er bewegte sich dem Scheitelpunkte zu, ging dann über ihn hinaus auf die Südseite und kam auf dieser bis zu einer Entfernung von 40 bis 45 Graden, wo er sich nach und nach wieder verlor. Ehe dies geschah, nahm er auf der Westseite eine unregelmässige Krümmung an und zeigte sich sehr auffallend schlangenförmig; auf der Ostseite blieb er bis zu seiner gänzlichen Auflösung regelmässig gekrümmt.

„Nach dem Verschwinden dieses Bogens zeigte das Nordlicht noch eine beträchtliche Helligkeit am nördlichen Himmel, welche, trotz des Mondscheines, oft bis zu der Höhe von 30 Graden wahrgenommen werden konnte. Hin und wieder schoss es einzelne blasse Strahlen an-

ts, welche jedoch mit keinen ungewöhnlichen Erscheinungen verbunden waren. Allein um 9^{1/2} Uhr wurde sein Ansehen prachtvoll; die rdhälfte des Himmels bedeckte sich mit einer rothen Farbe, welche so t wurde, dass sie nur mit der Farbe des Karmins verglichen werden an; dabei war ihr Licht so stark, dass es, trotz des Mondlichtes, sicht-en Schatten verursachte. Diese Röthe des Himmels ging in Norden ht bis zu dem Horizonte herab, sondern ein bogenförmiger Raum, sen Scheitel etwa 30 Grad Höhe haben mochte, blieb ungefärbt.

„Ueber diesem freien Raume sah der Himmel aus, als würde er ch einen Vorhang von einem hochrothen, durchsichtigen Stoffe be-kt. Hinter dem Vorhange schossen blendend weisse Strahlen hervor, lche durch ihn hindurch schimmerten. Einige glänzende Sternschnuppen, lche sich an dem verhängten Theile des Himmels zeigten, vermehrten ch die Pracht und die Abwechselung der Scene.

„Etwa nach einer Viertelstunde trennte sich der rothe Vorhang, um n in der Richtung des magnetischen Nordens liegenden Theil des mmels wieder in seiner gewöhnlichen Farbe erscheinen zu lassen. r ungefärbte Raum vergrösserte sich nun nach beiden Seiten, und ld war keine rothe Farbe mehr, sondern nur noch eine Helligkeit am rdlichen Horizonte sichtbar.

„Zum Schlusse führe ich noch an, dass, nach Maupertuis, die chrothe Farbe des Himmels auch in Tornea so selten vorkommt, dass lerei Aberglauben daran geknüpft wird, dass aber alle anderen Fär-ungen häufig sind. Es scheint daher, dass unser Nordlicht selbst r höhere Breiten eine ungewöhnliche Erscheinung gewesen sein würde.“

Matteucci, welcher das Nordlicht vom 18. October 1836 zu Forli . Kirchenstaate beobachtete, giebt davon folgende Beschreibung: „Es r 9 Uhr Abends, als ein schwach röthliches Licht sich gegen Norden a zeigte. Es erstreckte sich auf eine Weite von 70 bis 80° und erhob h zu 25 bis 30°. Seine Gestalt war in den unteren Partien kreisförmig; ne Entfernung vom Horizonte konnte 7 bis 8° betragen. 23 Minuten ch seinem ersten Hervortreten nahm das Licht eine lebhafte Purpur-be an, eine dunklere centrale Linie, welche man darin bemerkte, ging ch Westen. Die Erscheinung verschwand durch allmäliges Erblassen.“

Das Nordlicht vom 24. und 25. October 1870. In den 271 endstunden des 24. und 25. October 1870 wurde ein Nordlicht von sergewöhnlicher Pracht in einem grossen Theile Europas beobachtet. b. XXVIII ist die der Illustirten Zeitung entnommene Darstellung selben, wie es zu Dresden beobachtet wurde. Das genannte Blatt bt folgende Beschreibung des Phänomens:

„Am Abend des 23. October nach Sonnenuntergang bemerkte man en hellen Schein am nordwestlichen Himmel, den man indess wenig chtete, weil man glaubte, er rühre wohl noch von der untergegan-en Sonne her; aber am 24. October entwickelte sich aus einem ähn-Müller's kosmische Physik.

lichen Schein ein prächtiges Nordlicht, dessen dunkelrosige Gluth am stärksten im Sternbild des Grossen Bären hervortrat. Es gestaltete sich in der sechsten Abendstunde am schönsten. Aus einem flachen Bogen der von Nordost bis Südwest gespannt war, erhoben sich die glänzend rothen durchsichtigen Strahlenbüschel in drei Hauptpartien bis über das Zenith des Himmels gewölbes. Am südwestlichen Ende strahlte eine einzige dunkelrothe Säule fast über den ganzen Himmel. Nachdem diese schöne Erscheinung schwächer geworden, flammte in der achten Stunde das Licht noch einmal auf und jetzt zweigetheilt, der Lichtschein in Nordost war oben heller und leuchtender als der des anderen Theils, der sich im Norden indess höher nach dem Zenith erstreckte als der nördliche.

Am 25. Abends gleich nach Sonnenuntergang wiederholte sich die Erscheinung. Zuerst leuchtete ein deutlich abgegränzter Bogen mit weissgrünem Lichte über dem nördlichen Horizont. Das weissgrüne Licht nahm einen röthlichen Saum nach oben an, der dann mit rothem Lichte immer grösser und heller ward, dessen Strahlen aber undeutlich in einander verschwammen.

272 Beschreibung der von Lottin zu Bossekop beobachteten Nordlichter. Der Schiffslieutenant Lottin, Mitglied einer nach dem Norden ausgesendeten wissenschaftlichen Expedition, hatte während des Winters von 1838 auf 1839 Gelegenheit, die Erscheinung des Nordlichtes zu Bossekop, im norwegischen Amte Finnmarken, unter dem 70. Grade nördlicher Breite, zu beobachten.

Bossekop liegt an einem vielbuchtigen Fiord, in welches sich der Flösschen Alten ergiesst, umgeben von Tanuenwäldern und Schneebergen, deren Kamm sich zu einer Höhe von 5 bis 7° über den Horizont erhebt.

Vom September 1838 bis zum April 1839, in einem Zeitraume von 206 Tagen, beobachtete man daselbst 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längsten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert. Lottin beschreibt das Phänomen in folgender Weise.

„Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6° herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmählig die Gestalt eines Bogens von blassgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde stützen.

„Dieser Bogen steigt allmählig in die Höhe, während sein Gipfel nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

„Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmäßigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, sie erstrecken sich

en aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet ist. Manchmal vereinigen sich die Strahlen bis zu diesem Punkte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

„Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu steigen; in seinem Aufsteigen zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fusse zum anderen; dieser Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hintereinander, aber häufiger von Westen nach Osten als in entgegengesetzter Richtung. Manchmal, aber nicht immer, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erste, und wenn der Glanz der Reihe nach alle Strahlen von Westen nach Osten durchlaufen hat, nimmt seine Bewegung eine entgegengesetzte Richtung an und kehrt zu seinem Ausgangspunkte zurück, ohne dass man eigentlich sagen kann, ob die Strahlen selbst eine horizontale Verrückung erfahren, oder ob sich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne die Strahlen ihre Richtung verändern.

„Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, die den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Segels oder einer Fahne nicht unähnlich ist. Manchmal verlässt einer der Füße oder selbst beide den Horizont; dann werden diese Biegungen seltener und deutlicher; der Bogen erscheint nur als ein langes Strahlband, welches sich entwickelt, sich in mehrere Theile trennt und diese Windungen bildet, welche sich fast selbst schliessen und das Ganze, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen; sie übertrifft die der Sterne an Grösse; die Strahlen schiessen mit Schnelligkeit, die Biegungen an und entwickeln sich wie die Windungen einer Schlange; nun vereinigen sich die Strahlen, die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blassgelbes Licht. Diese Farben behalten immer ihre relative Lage und haben eine bewundernswürdige Durchsichtigkeit. Roth nähert sich einem hellen Blutroth, das Grün einem blassen Magdgrün.

„Der Glanz nimmt ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich, oder sie wird nach und nach schwächer. Kleine Stücke des Bogens erscheinen wieder, er bildet sich von Neuem, setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith; die Strahlen erscheinen durch die Perspective immer kürzer; alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das magnetische Zenith, einen Punkt, an welchem die Südspitze der Inclinationsnadel hinweist. Nun sieht man die Strahlen von ihrem Fusse aus. Wenn sie sich in diesem Augenblicke färben, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt.

„Unterdessen bilden sich neue Bogen am Horizonte, welche ebenfalls anfangs verschwommen erscheinen, oder durch lebhafte Strahlen hervorgehoben sind. Sie folgen einander, indem alle fast dieselben Phasen

durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihr

Fig. 382.

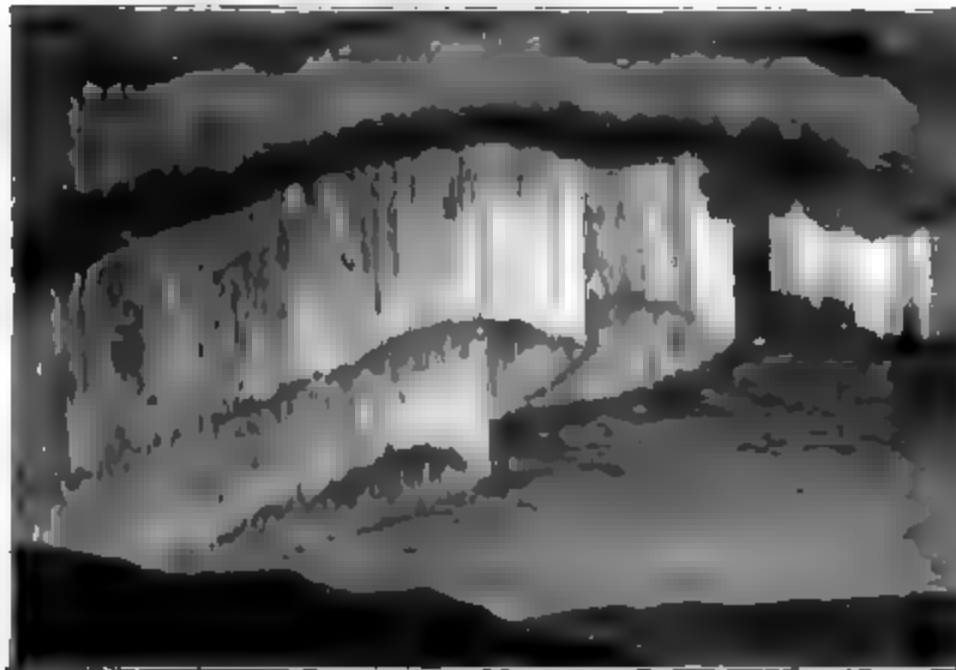


Anordnung an die oberen Coulissen unserer Theater erinnern, die die Seitencoulissen gestützt, den Himmel der Theaterscene bilden. Ma

erden die Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bogen drängen
 ler. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetische Ze-
 berschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte
 vergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kom-
 en die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne
 l nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher
 sem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicher-
 ur einen Bogen sehen können.

Denkt man sich nun ein lebhaftes Schiessen von Strahlen, welche
 idig sowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Glanz sich
 n, dass sie die herrlichsten rothen und grünen Farbentöne zeigen,
 ine wellenartige Bewegung stattfindet, dass Lichtströme einander
 und endlich, dass das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure
 ige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einen mit Schnee be-

Fig. 383.



n Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das
 Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man
 unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiel,
 dessen Beschreibung man verzichten muss.

Die Krone dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal
 ch, ohne dass man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht
 zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich
 Zenith, immer blässere Bogen bildend, welche in der Regel ver-
 iden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beob-

man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher
 t das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen
 en verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begränzte Licht-
 mer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel

gruppiert sind. — Allmählig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

„Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon aufgebrochen, wenn es schon so hell ist, dass man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so unbestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weissliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, dass man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann.“

Die Figuren 382 und 383 (a. v. S.) stellen zwei zu Bossekop beobachtete Nordlichter dar.

273. Beziehungen des Nordlichtes zum Erdmagnetismus

Das Nordlicht, welches Humboldt sehr bezeichnend ein magnetisches Gewitter nennt, steht, wie bereits bemerkt wurde, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus. So haben wir bereits gesehen, dass der Gipfel des Nordlichtbogens im magnetischen Meridian liegt, und dass der Mittelpunkt der Nordlichtskrone derjenige Punkt des Himmelsgewölbes ist, nach welchem das Südende der Inclinationsnadel hinweist. Dazu kommt aber noch, dass während eines Nordlichtes die Declinationsnadel in ungewöhnlich starke Schwankungen geräth. Dieser Umstand wurde bereits im Jahre 1740 von Celsius und Hiorter entdeckt. Durch Vergleichung von Beobachtungen der Magnetnadel, welche gleichzeitig an sehr entfernten Orten, wie zu Upsala und zu London, gemacht worden waren, fand sich, dass dieselben Bewegungen der Magnetnadel sich an beiden Orten, und zwar um so stärker geäussert hatten, je lebhafter und je weiter verbreitet am Himmel das Nordlicht gewesen war.

Während des grossen Nordlichtes vom 7. Januar 1831 wuchsen die Schwankungen der Magnetnadel zu Paris bis auf $1^{\circ} 16,5'$.

Hansteen beschreibt den Einfluss der Nordlichter auf die Magnetnadel in folgender Weise: „Ist das Nordlicht lebhaft, so wird die Abweichungsnadel unruhig, sie weicht in Zeit von wenigen Minuten um 3, 4, ja um 5 Grad von ihrer gewöhnlichen Stellung ab und hat zuweilen eine sehr veränderliche Bewegung, zum Beweise, dass in dieser Zeit die Magnetkräfte der Erde in grosser Unruhe sind. Kurz vor dem Erscheinen des Nordlichtes kann die Intensität des Erdmagnetismus bis zu einer ungemeinen Höhe steigen; sobald aber das Nordlicht beginnt, nimmt die Intensität des Erdmagnetismus in demselben Verhältniss ab, in welchem das Nordlicht lebhafter wird, indem er seine frühere Stärke successiv, oft erst nach Verlauf von 24 Stunden wieder erhält. — Die Nordlichter scheinen demnach eine Lichtentwicklung zu sein, welche die Entladung des ungewöhnlich stark angehäuften Erdmagnetismus begleitet.“

Ein für die magnetische Wirkung der Nordlichter charakteristischer Umstand besteht darin, dass das Nordende der Declinationsnadel von seiner normalen Lage vorzugsweise nach Westen abgelenkt wird.

ur vorübergehend wechselt diese westliche Ablenkung mit einer viel geringeren östlichen.

Eine ungewöhnliche Unruhe der Magnetnadel erstreckt sich aber nicht allein auf diejenigen Gegenden, in welchen das Nordlicht selbst sichtbar ist, sondern sie wird noch an Orten beobachtet, welche dem Hauptplatze des Nordlichtes mehr oder weniger fern sind, so dass man aus bedeutenderen Störungen der Magnetnadel wohl stets auf ein, wenn auch nur in entfernteren Gegenden sichtbares Nordlicht schliessen kann. Arago hat diesem Umstand eine ganz besondere Aufmerksamkeit zuwendet. (F. Arago's sämtliche Werke, 4. Bd.)

Am unzweifelhaftesten ergibt sich die Beziehung des Nordlichtes zum Erdmagnetismus, wenn man sucht die wahre Lage der Nordlichtstrahlen zu ermitteln. Eine genauere Prüfung führt nämlich stets zum Resultat, dass diese Strahlen mit der Richtung der Neigungsnadel zusammenfallen, d. h. dass die wahre Richtung der Strahlen dieselbe ist, wie diejenige, welche eine an ihre Stelle gebrachte nach allen Seiten hin frei bewegliche Neigungsnadel annehmen würde. Die verschiedenen Formen, unter welchen das Nordlicht erscheint, erklären sich, nachdem einmal diese Thatsache festgestellt ist, als eine Wirkung der Perspective, welche sich ändert, je nachdem der Beobachter verschiedene Stellungen gegen die Strahlengruppen einnimmt.

Höhe, Ausdehnung, geographische Verbreitung und Periodicität der Nordlichter. 274 Die älteren Naturforscher waren der Ansicht, dass der Sitz der Nordlichter noch über den Grenzen der Atmosphäre zu suchen sei. Diese Ansicht war jedenfalls eine irrige. Wenn das Nordlicht sich ausserhalb unserer Atmosphäre befände, so könnte es an der täglichen Umdrehung der Erde keinen Antheil nehmen, müsste also die scheinbare tägliche Bewegung des Fixsternhimmels theilen, was entschieden nicht der Fall ist; im Gegentheil verhält sich das Nordlicht gegen das Himmelsgewölbe durchaus wie ein irdischer Gegenstand; es ist also keinem Zweifel unterworfen, dass sich das Nordlicht innerhalb unserer Atmosphäre bildet.

Aber welches ist seine Höhe über der Erdoberfläche? Um diese Frage zu beantworten, verglich man die scheinbare Höhe, in welcher der Aufgangspunkt des Lichtbogens eines und desselben Nordlichts von verschiedenen Beobachtern gesehen wurde, welche sich an mehr oder weniger weit von einander entfernten, wo möglich auf demselben magnetischen Meridian liegenden Orten befanden. Dergleichen Bestimmungen führten zu sehr verschiedenen Resultaten, was sehr begreiflich ist, wenn man bedenkt, dass es sehr zweifelhaft ist, ob die verschiedenen Beobachter denselben Punkt einvisirt und gleichzeitig gemessen haben. Daher kommt auch, dass sich sogar für ein und dasselbe an sehr vielen Orten be-

obachtete Nordlicht sehr verschiedene Höhen ergeben, je nachdem man diese oder jene Beobachtungen mit einander combinirt.

So findet z. B. Hansteen für das Nordlicht vom 7. Januar 1831 die Höhe von 26 geographischen Meilen, indem er die Messungen der scheinbaren Höhe des Bogens von Berlin und Christiansand in Norwegen combinirt, während Christie aus verschiedenen in England angestellten Beobachtungen desselben Nordlichtes eine Höhe von 5 bis 25 englischen Meilen berechnet.

Die Bestimmungen neuerer Physiker weisen den Nordlichtern eine weit geringere Höhe an, als man früher annahm. Nach Mairan sollte die mittlere Höhe der Nordlichter 120, nach Cavendish (1790) soll sie 60, und nach Dalton (1828) nur 18 geographische Meilen betragen.

Farquharson endlich macht es wahrscheinlich, dass die Nordlichter, wie dies auch schon früher z. B. von Wrangel ausgesprochen worden ist, bis in die Region der Wolken heruntergehen; er stützt sich dabei unter Anderem auf eine Nordlichtsbeobachtung vom 20. December 1829. Er sah nämlich von 8¹/₂ bis 11 Uhr Nachts zu Alford in Aberdeenshire ein sehr glänzendes Nordlicht über einer dichten Wolkenmasse, welche die Spitzen der nördlich von seiner Wohnung liegenden Correnhügel bedeckte. Obgleich der übrige Theil des Himmels heiter war, so stieg das Nordlicht doch nie höher als 20°. Gleichzeitig sah der Prediger Paull zu Tullynessle, welches zwei englische Meilen nördlich von Alford in einem engen Seitenthale der erwähnten Hügelreihe liegt, um 9¹/₄ Uhr Abends das Nordlicht sehr hell in der Nähe des Zeniths. Demnach würde die Höhe dieses Nordlichts höchstens 4000 Fuss betragen haben.

Diese Ansicht wird nun auch durch vielfache in neuerer Zeit in den Polargegenden gemachte Beobachtungen unterstützt, und namentlich auch von Parry, Franklin, Hood und Richardson vertreten. Franklin beobachtete Nordlichter, welche zwischen einer Wolkenschicht und der Erde befindlich waren und welche die untere Fläche dichter Wolken erleuchteten.

So viel ist gewiss, dass sich das Phänomen des Nordlichtes in sehr verschiedenen Höhen bildet, dass sie aber schwerlich je über eine Höhe von 20 Meilen hinausgehen.

Die in geringen Höhen sich bildenden Nordlichter, wie sie in den Polarregionen öfters vorkommen, sind auch nur in geringen Entfernungen sichtbar. So führt Hood ein Nordlicht an, welches er am 2. April 1830 in Cumberland-House (im britischen Nordamerika, auf den Isothermenkarten verzeichnet) als einen glänzenden Bogen in 10° Höhe beobachtete, und von welchem man 55 englische Meilen südwestlich nichts wahrnahm; und ein anderes Nordlicht, welches am 6. April mehrere Stunden im Zenith von Cumberland-House stand, erschien 100 englische Meilen südwestlich nur noch als ein ruhiger ungefähr 9° hoher Bogen.

Ein Umstand, welcher gleichfalls dafür sprechen dürfte, dass die Nordlichter häufig wenigstens in sehr geringen Höhen bilden, ist das

a, welches manchmal ihre Erscheinung begleiten soll. Dieses Gewirde wird von Einigen mit demjenigen verglichen, welches entsteht, wenn ein Stück Seidenzeug über einander gerollt wird, von Anderen, als ein rasches, mit dem Geräusch der stark vom Winde getriebenen Flamme verglichen. In Sibirien soll, wie Gmelin erzählt wurde, das Nordlicht oft mit so heftigem Zischen, Platzen und Rollen verbunden sein, dass man ein Feuerwerk zu hören glaubt, und dass sich die Hunde erschrecken, von solchen Nordlichtern überfallen, vor Angst auf den Boden zu sinken.

Andererseits wird aber die Existenz eines solchen Geräusches bezweifelt. Mehrere Beobachter, welche häufig in Schweden und Norwegen Gelegenheit hatten, das Phänomen des Nordlichts zu beobachten, versichern, nie das geringste Geräusch gehört zu haben. So sagt Linné von seinem Aufenthalt an den Küsten des sibirischen Eismers: Wir hörten beim Erscheinen der Säulen kein Krachen, überhaupt kein Geräusch. Nur wenn ein Nordlicht eine grosse Intensität hatte, und die Strahlen sich oft nach einander bildeten, däuchte es uns, als ob ein etwas, wie ein schwaches Blasen des Windes in die Flamme. Franklin, welcher bei seinem mehrmaligen Aufenthalte in den Polargegenden oft die Erscheinung des Nordlichtes beobachtete, und Franklin, welcher am Bärensee deren 343 sah, versichern, nie ein Geräusch gehört zu haben, und sind der Meinung, dass das, was man für ein Geräusch des Nordlichtes hielt, wohl nichts als das Rauschen des Windes selbst sei, welches in den hellen kalten Nordlichtnächten berstenden zu hören sei.

Nur solche Nordlichter werden nur solche Nordlichter sichtbar, welche sich zu einer beträchtlichen Höhe erheben.

Während die Sichtbarkeit der meisten in den Polargegenden sich auf einen kleinen Nordlichter nur auf einen geringen Umkreis beschränkt bleibt, kann manchmal das Phänomen des Nordlichtes eine überraschende Ausdehnung. So war z. B. das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 im nördlichen und mittleren Europa, sowie auch am Eriesee in Nordamerika sichtbar. In solchen Fällen ist es klar, dass man an weit entfernten Orten nicht dieselben leuchtenden Strahlen sah, dass man also eben angeführten Falle am Eriesee eine andere Partie des Phänomens wahrnahm als in Europa. Wahrscheinlich hatte sich damals ein riesiger Strahlenkamm gebildet, welcher, ungefähr der Richtung eines magnetischen Parallels folgend, mit oder ohne Unterbrechung vom atlantischen Ocean über den atlantischen Ocean bis nach Norwegen und Schweden

In den südlichen Polarregionen bildet sich ein ähnliches Lichtphänomen wie das, welches wir bisher besprochen haben, und welches mit dem Namen des Südlichtes bezeichnet hat. Solche Südlichter sind von verschiedenen Seefahrern und namentlich von Cook gesehen und beschrieben worden.

Man hat die Nord- und die Südlichter mit dem gemeinsamen Namen der Polarlichter bezeichnet.

Eine sehr merkwürdige Thatsache ist es, dass sehr oft Nord- und Südlichter zu gleicher Zeit erscheinen. So wurden z. B. im Jahre 1763 zu Rio Janeiro Südlichter gesehen, während gleichzeitig auf der nördlichen Hemisphäre Nordlichter beobachtet wurden. Dasselbe gilt für viele der Südlichter, von welchen Cook berichtet. Er sah Südlichter am 18., 21. und 25. Februar und am 16. März 1773, während van Swinden von Nordlichtern berichtet, welche er an denselben Tagen zu Franecker in Friesland gesehen hat. Ebenso ist das gleichzeitige Erscheinen von Nordlichtern zu Christiania und von Südlichtern zu Hobartown auf Van Diemens Land constatirt.

Fritz und R. Wolf haben nachgewiesen, dass die Häufigkeit der Nordlichterscheinungen derjenigen der Sonnenflecken parallel laufe, so dass die Nordlichter am häufigsten erscheinen, wenn die Sonne die zahlreichsten Sonnenflecken zeigt, wie denn auch gegenwärtig bei zahlreichen Sonnenflecken ungewöhnlich viel Nordlichter beobachtet werden.

275 Das Spectrum des Nordlichts. Nachdem man die Lichterscheinungen beobachtet hatte, welche in den verdünnten Gasen der Geissler'schen Röhren auftreten, wenn man elektrische Entladungen durch sie hindurchsendet, lag die Idee nahe, dass auch das Licht der aurora borealis von einer in der verdünnten Luft der höheren Regionen der Atmosphäre sich vollziehenden elektrischen Ausströmung herrühre. Diese Vermuthung ist jedoch durch die Spectralanalyse des Nordlichts noch keineswegs entschieden bestätigt worden.

Nach Angström's Beobachtungen besteht das Spectrum des leuchtenden Bogens, welchen das dunkle Segment umsäumt, aus einer einzigen hellen Linie zwischen *D* und *E*, deren Lage in Figur 218 auf Seite 379 durch eine punktirte Linie angedeutet ist. Ausser dieser verhältnissmässig hellen Linie beobachtete er bei erweitertem Spalt noch drei ganz schwache Streifen gegen *F* hin. Fig. 8 auf Tab. 10 stellt das von Zöllner mit einem Browning'schen Miniaturespectroskop beobachtete Spectrum des prachtvollen Nordlichts vom 25. October 1870 dar. Ausser der Angström'schen Nordlichtlinie, welche für alle Stellen des Nordlichtes mit hervorragender Helligkeit glänzte, zeigte sich die rothe Linie nur an solchen Stellen des Himmels, welche auch dem unbewaffneten Auge stark geröthet erscheinen. Im blauen Theile des Spectrums traten nur zuweilen bandartige Streifen auf. Im Wesentlichen stimmen hiermit auch die Resultate anderer Beobachter überein.

Zöllner hat dargethan, dass das Spectrum des Nordlichts nicht mit dem Spectrum irgend eines verdünnten Gases in den Geissler'schen Röhren übereinstimmt, dass sich die hellen Nordlichtlinien in keinem jener Gasspectra wiederfinden, wie dies auch Angström bereits für die

er Nordlichtlinien gefunden hatte. Daraus folgert dann Zöllner, in die Lichtentwicklung beim Nordlicht überhaupt elektrischer Natur, wie die Lichtentwicklung der verdünnten Gase in Geissler-Röhren, dieselbe einer so niedrigen Temperatur angehören müsse, dass sie beim Experimentiren mit Geissler'schen Röhren nicht nachstellen könne.

la Rive's Theorie des Nordlichts. In dem 14. Bande **276** *Annales des sciences physiques et naturelles* (1862) entwickelt De la Rive seine Theorie der Polarlichter ungefähr in folgender Weise:

Nach directe Beobachtungen ist dargethan, dass das Meerwasser mit positiver Elektricität geladen ist; die von ihm aufsteigenden Dämpfe tragen diese Elektricität in die höheren Regionen der Atmosphäre, welche alsdann durch den rückkehrenden Passat den Polen eine positive Hülle für die Erde bildet, welche selbst mit negativer Elektricität geladen bleibt. Da nun aber die Erde sowohl wie die verdünnte Luft der höheren Regionen gute Leiter sind, so kann man die beiden Platten eines Condensators vergleichen, dessen isolirende Schicht durch die unteren Lagen der Atmosphäre gebildet wird. Wenn durch den gegenseitigen Einfluss werden sich nun die entgegengesetzten Elektricitäten vorzugsweise da verdichten, wo die positive Luftschicht der negativen Erde einander am nächsten sind, also in der Nähe der Pole. Sobald die entgegengesetzten Elektricitäten hier eine gewisse Dichte erreicht haben, welche nicht überschritten werden kann, muss es zu Entladungen in Form mehr oder minder häufiger Entladungen kommen. Diese Entladungen müssen nahezu gleichzeitig an beiden Polen stattfinden. Es ist einleuchtend, dass die Neutralisation der entgegengesetzten Elektricitäten nicht auf einmal, sondern in Anbetracht der geringen Leitungsfähigkeit des Mittels, durch welches hindurch sie stattfinden, nur in successiver mehr oder weniger continuirlichen Entladungen von veränderlicher Intensität stattfinden kann.

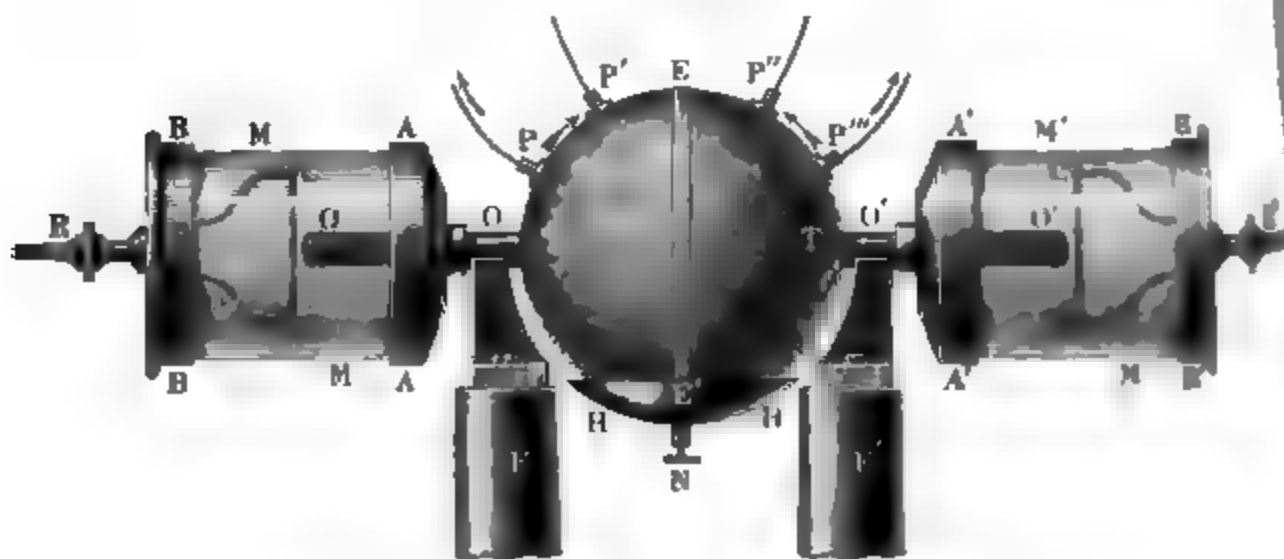
Und nun in der Nähe der Pole eine solche elektrische Entladung stattfindet, muss auf der Erde die negative Elektricität vom Äquator nach den Polen, die positive von den Polen nach dem Äquator fließen. Der Einfluss eines solchen Stromes aber muss das Nordnadelmagnet der Declinationsnadel auf der nördlichen Hemisphäre nach Westen ablenken, wie dies nach §. 274 auch in der That der Fall ist, deren Ablenkung wird aber eine sehr veränderliche sein, weil die elektrische Entladung und also auch die Stärke des Stromes fortwährenden Schwankungen unterliegt.

Man lässt sich aber auch in Telegraphendrähten nachweisen, dass zwischen zwei Stationen, von denen die eine nördlich von der andern liegt, in passender Weise einen Multiplicator einschaltet. Wenn der Multiplicator in Schwankungen gerathen, so scheint die Nadel abzuweichen, und zwar wird sie vorzugsweise so ab-

gelenkt, dass sie einen positiven vom Pol zum Aequator gehenden Strom anzeigt. Die Grösse dieser Ablenkung ist aber eine stets wechselnde und manchmal geht sie, wenn auch nur vorübergehend, in eine entgegengesetzte, einen vom Aequator zum Pol gerichteten Strom anzeigende über. — Die Ablenkung der Multiplicatornadel ist aber keineswegs ein richtiges Maass für den fraglichen Erdstrom, weil dessen Stärke durch die Polarisation der Erdplatten modificirt wird. Hört z. B. der Strom, nachdem er eine Zeitlang vom Pol zum Aequator gerichtet war, für kurze Zeit ganz auf, so erfolgt nun eine Entladung der galvanischen Polarisation der Erdplatten, welche einen dem vorigen entgegengesetzten Strom durch den Multiplicator hindurchsendet, ohne dass ein positiver Erdstrom vom Aequator zum Pole geht.

Uebrigens treten solche vom Aequator zum Pol gerichtete Ströme während der Nordlichterscheinung wirklich auf, wie uns die Ablenkung der Declinationsnadel zeigt. Es lässt sich dies aber leicht erklären. In

Fig 384



gleichzeitigen Entladungen an den beiden Erdpolen, welche die Erscheinung der Nord- und Südlichter hervorbringen, sind alternirend bald an einen, bald am anderen Pole stärker und können vorübergehend an dem einen Pole ganz aufhören, während sie am anderen fortdauern. In solchen Momenten muss dann zu dem Pole, an welchem gerade eine kräftige Ausstrahlung stattfindet, die negative Elektricität nicht allein vom Aequator, sondern selbst vom anderen Pol her zuströmen, auf der Hemisphäre des eben pausirenden Pols geht also in solchen Momenten der positive Strom vom Aequator zum Pole hin.

Um die Erscheinung der Polarlichter und alle dieselben begleitenden Phänomene künstlich nachzubilden, hat De la Rive einen Apparat construirt, welchen Fig. 384 in 1¹² bis 1¹⁴ der natürlichen Grösse darstellt. T ist eine Kugel von Holz, welche die Erde darstellt. Diametral gegenüber stehend sind in diese Holzkugel die Eisenstäbe OO' und O'O' eingesetzt, deren jeder 3 bis 4 Centimeter Durchmesser und eine Länge von 8 bis 10 Centimetern hat. Diese Eisenstäbe ruhen auf einer

zen, welche auf die Pole F und F' eines kräftigen Elektromagnets geschraubt sind. Wird der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, so sind O und O' die magnetischen Pole der Kugel T .

Die Eisenstäbe OO und $O'O'$ sind bis auf ihre Endfläche von einer feinen Schicht eingehüllt; der eine ist von dem Glaszylinder MM , andere ist von dem Glaszylinder $M'M'$ umgeben, deren jeder durch zwei Metallplatten hermetisch verschlossen ist. Durch die nach Innen gerichtete Deckplatte (AA und $A'A'$) tritt der Eisenstab in die Höhlung des Glaszylinders ein, während die äussere Deckplatte (BB und $B'B'$) aus zwei Metallplatten besteht, aber mit wohl isolirendem Firniss überzogen. Jeder Arm trägt einen Draht ring (CD und $C'D'$) von rein metallischer Oberfläche, welcher das freie Ende des entsprechenden Eisenstabes concentrisch umgiebt. Jede der äusseren Deckplatten trägt nach Aussen eine Röhre mit einem Hahn (R und R'), mittelst deren man die Glaszylinder evacuiren und mit beliebigen Gasen füllen kann.

Um mit dem Apparat zu experimentiren, werden zwei Bänder von dickem Löschpapier um die Kugel herumgelegt, das eine, EE' , den Äquator der Kugel bildend, während das andere von E' ausgehend zu

dem Eisenstab auf der rechten Seite der Kugel geführt wird, von da nach E zum Eisenstab auf der linken Seite der Kugel und von da endlich nach E' zurück, so dass das letztere Band einen durch die beiden Bänder gehenden Meridian darstellt. Auf diesem Meridianstreifen sind zu beiden Seiten des Äquators kleine Messingsäulchen P und P' aufgesetzt, deren Basis 1 bis 2 Quadratcentimeter beträgt und welche mittelst einer kleinen Schraube in die Holzkugel eingelassen sind; in diese Säulchen werden die Zuleitungsdrähte eingesetzt, welche zu einem 10 bis 12 Meter entfernten Multiplicator führen. Die Streifen von Löschpapier werden mit Salzwasser befeuchtet, und um sie feucht zu erhalten ist an dem einen Ende der Kugel mittelst eines in das Holz eingeschraubten Messingsäulchens N eine Messingschale befestigt, in welche etwas Salz- oder Salzwasser eingegossen wird.

Dieses Messingsäulchen N wird nun mit dem negativen Pol eines Ruhmkorff'schen Apparates verbunden, während der positive Pol desselben mittelst eines in zwei Arme sich theilenden Leitungsdrahtes mit den äusseren Deckplatten BB und $B'B'$ in Verbindung gesetzt wird. Sobald der Ruhmkorff'sche Apparat in Thätigkeit gesetzt wird, erscheint bei gehöriger Evacuierung der Glaszylinder ein Lichtbüschel, welcher von dem Metallring (CD oder $C'D'$) zum Rande des Eisens übergeht, und zwar abwechselnd in dem einen und dann wieder in dem anderen Glaszylinder, selten in beiden zugleich.

Wird nun auch der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, so setzt sich der Lichtstreif aus und nimmt eine rotirende Bewegung an, deren Richtung von der Polarität des Eisenkernes abhängt. Man hat eine treue Nachbildung der Nordlichterscheinung, wenn der Nordbogen Lichtstrahlen in die höheren Regionen der Atmosphäre schiesst.

Die ganze Erscheinung ändert ihren Charakter, sobald man den Strom des Ruhmkorff'schen Apparates umkehrt, also den positiven Strom vom Eisenkerne zum Metallring gehen lässt.

Schaltet man nun, während der positive Strom vom Ring zum Eisenkerne geht, zwischen zwei Metallsäulchen P und P' derselben Hemisphäre mittelst entsprechender Leitungsdrähte einen 10 bis 12 Meter entfernten Multiplicator als Nebenschliessung ein, so erfolgt eine Ablenkung der Nadel von 70 bis 80°, welche einen in der Richtung der kleineren Pfeile circulirenden Strom andeutet, wenn die Entladung gerade an dem Pole der gleichen Hemisphäre (in unserem Fall also zwischen $C'D$ und O) stattfindet, während eine weit kleinere, nur 25 bis 30 Grad betragende entgegengesetzt gerichtete Ablenkung der Multiplicatornadel in solchen Momenten auftritt, in welchen die Entladung am anderen Pole (in unserem Falle also zwischen $C'D$ und $O'O$) erfolgt.

Also auch in dieser Beziehung liefert der Apparat eine treue Nachbildung der Erscheinungen, welche das Nordlicht begleiten.

Eine Schwierigkeit, welche der De la Rive'schen Theorie des Nordlichts entgegentritt, kann jedoch nicht unerwähnt bleiben. Nach De la Rive ist das Meer überall positiv elektrisch; da nun aber die Erdoberfläche namentlich aber der Südpol der Erde ringsum vom Meere umgeben ist, so ist nicht einzusehen, wie die negative Elektricität überall ungehindert den Polarregionen zuströmen kann. Da jedoch die fragliche Theorie sonst so viel Wahrscheinlichkeit hat, so lässt sich hoffen, dass es bald gelingen wird, auch diese Schwierigkeit zu heben.

Fig. 385.



ALPHABETISCHES INHALTSVERZEICHNISS.

A.			Seite
th		Atmosphäre der Erde	569
ern	148	— Zusammensetzung derselben	569
on des Lichtes	351	— Höhe derselben	586
ng der Erde	60	Atmosphärische Electricität	685
upiter	154	— Linien	378
inie	101, 115	— Refraction	354
ion des Lichtes durch die		Aufsteigung, gerade	30
osphäre	359	Aufsteigender Knoten	123
ion der Wärmestrahlen		Aurora borealis	763
ch die Atmosphäre	520	Axendrehung der Erde	65
ionsspectrum der Atmo-		— der Sonne	295
sphäre	378	— des Mondes	187
ung, astronomische	29	— des Jupiter	155
etische	722	Azimut	17
eter	527		
r der Himmelskugel	7	B.	
Erde	55	Barometer, registrirendes	57
etischer	745	Barometrische Höhenmessung	582
realinstrument	39	Barometerschwankungen	570
portabeles	41	— jährliche	577
realkreis	39	— tägliche	572
ctium	108	— unregelmässige	580
ctialpunkte	79	Bewegung, tägliche, der Gestirne	7
gang derselben	97	— scheinbare, der Planeten	121
ctialcolor	80	Blau des Himmels	373
eskop	628	Blendglas	295
e	223	Blitz	711
e	23	— Spectrum desselben	711
ine Schwere	249	— Wirkungen desselben	715
e	240	Blitzableiter, Construction der-	
n	116	selben	700
n	101	— Prüfung derselben	704
r	631	— für Telegraphen	707
ter	663	Blitzröhren	716
äre der Sonne	301	Blitzschläge, merkwürdige	717
mondes	194	Bodentemperatur	530
		Breite, astronomische	80

Breite, geographische	Seite 54
— — Bestimmung derselben . . .	56
Breitenkreise auf der Erdkugel . .	55
Brockengespenst	411

C.

Calmen	602
Cardani'sche Aufhängung	72
Centralbewegung	250
Centralsonne	292
Ceres	160
Chamsin	610
Chromosphäre	306
Cirumpolarsterne	8
Cirrus	653
Colorimeter	325
Coluren	80
Conjunction	422
obere und untere	122
Constante, magnetische	722
Continentalklima	469
Copernikanisches Weltsystem . . .	131
Corona	301
Culmination	8
— obere und untere	9
Camulus	653
Curven, magnetische	737
Cyanometer	373

D.

Dämmerung	387
Dämmerungsbogen	388
Daniell's Hygrometer	635
Declination, astronomische	28
— einiger Sterne	31
— magnetische	723
Declinationskarten	737
Declinationskreis an der Him- melskugel	28
— am Aequatoreal-Instrument . . .	39
Deferent	130
Depression des Horizonts	49
Dichtigkeit, mittlere, der Erde . . .	259, 266
— der Sonne, verglichen mit der Erde	259
— — verglichen mit Wasser . . .	266
— der Planeten, verglichen mit der Erde	259
— — verglichen mit Wasser . . .	266
Diaphanometer	358
Donati's Komet	208
Doppelsterne	229

Donner	71
Drache, elektrischer	86
Drehwage, Anwendung derselben zur Bestimmung der mittlere Dichtigkeit der Erde	26
Durchgänge des Mercur!	167
— der Venus	168
Durchmesser der Erde	8
— scheinbarer der Sonne	16
— — der Planeten	15
— — des Mondes	16
— wahrer, der Sonne	16
— — des Mondes	17
— — des Jupiter	16
— — der kleinen Planeten	16
— — des Mars	16
— — des Mercur	16
— — des Saturn	16
— — des Uranus	16
— — der Venus	16
Durchsichtigkeits-Coefficient . . .	26
Durchsichtigkeit der Luft	26
— des Wassers	26

E.

Ebbe	24
Ebbe und Fluth, atmosphärische . .	24
Eisbildung durch nächtliche Strah- lung	24
Eisberge, schwimmende	24
Eisenmeteorite	24
Eisfelder	24
Eismeer	24
Eiszeit	24
Ekliptik	24
Elektricität, atmosphärische	24
— der Gewitterwolken	24
Elliptische Bahnen der Planeten . .	16
Elongation	16
Entfernung der Sonne von der Erde	16
— der Fixsterne	16
— des Mondes von der Erde	16
— mittlere, der Planeten von der Sonne	16
Epicyklen	16
Epoche	16
Erde, Kugelgestalt derselben	2
— Abplattung derselben	2
— Atmosphäre derselben	2
— Axendrehung derselben	2
— Dichtigkeit derselben	2
— Dimensionen derselben	2
— Masse derselben	2

	Seite
Äquator	55
Bahn, wahre Gestalt derselben	114
Excentricität derselben	115
Leben	539
Erne	101
Magnetismus	722
Ähe	101
Oberfläche, Krümmung der- selben	46
Rein	169
Wärme, innere	535
Umlaufungskreis	48
Steine, vulkanische	518
Geysirs	537
Strokkra	546
Barometer	547
Excentricität der Erdbahn	663
Erdbahn	115
Mondbahn	169
Planetenbahnen	145

F.

Falkenkreuz	23
Farbe des Himmels	373
Farbe des Wassers	370
Falken	396
Falken	653
Falken	501
Falken, parallaktisch aufgestellt	10, 40
Falkenheit der Luft	631
Falken	643
Falkenheitsgrade	632
Falken	228
Falken des Mondes	176
Falken Sonne	183
Falken	501
Falken	6
Falken Bewegung derselben	284
Falken derselben	289
Falken	325
Falken Parallaxe derselben	285
Falkenmetrische Vergleichung derselben	314
Falken	324
Falken	322
Falken	240
Falken	227
Falken	278
Falken	611
Falken'sche Linien	299
Falken's Pendel	69
Falken	513

Falken's kosmische Physik

	Seite
Frühling	425
Frühlingspunkt	79
— Bestimmung desselben	95
Frühlingsäquinocium	79
Funkeln der Sterne	357

G.

Gebirge des Mondes	191
Geräusch des Nordlichts	777
Geschwindigkeit der Planeten in ihrer Bahn	144
— des Lichtes	348
Gesichtskreis	47
Gewitter	688
— magnetisches	774
Gewitterwolken, Charakter der- selben	710
— Elektricität derselben	688
— Höhe derselben	710
Geysir	545
— Eruptionen desselben	546
— Nachahmung desselben	550
Geysire Neuseelands	552
Gletscher	500
Gletscherschliffe	518
Gletschertische	516
Golfstrom	471
Gnomon	20
Gradmessungen	62
Graupeln	671
Gregorianischer Kalender	97
Grundeis	560
Gufferlinie	514

H.

Haarhygrometer	632
Hafenetablisement	276
Hafenzeit	276
Hagel	671
Halley's Komet	220
Harmattan	610
Haufenwolke	653
Höhenmeter, Pouillet's	520
— Fraunhofer's	102
Hemisphäre, nördliche und süd- liche	7
Herbstäquinocium	79
Herbstpunkt	79
Himmel, Farbe desselben	378
Himmelsgewölbe	5
Himmelsglobus	9
Himmelsäquator	7

	Seite
Hochebenen, Temperaturverhältnisse derselben	495
Höfe	405
Höhe, eines Gestirns	17
Höhenkreis	18
Höhenmessung, barometrische	582
Horizont	5
Horizont, wahrer	55
— scheinbarer	55
Horizontlinie	47
Horizontalparallaxe	117
Hurricanes	618
Hyaden	15
Hydrometeore	631
Hyetographische Karten	662
Hyetometer	655
Hygrometer, Saussure's	632
— Daniell's	635
— Döbereiner's	638
— Regnault's	638

I.

Inclination, magnetische	728
Intensität, magnetische	731
Isametralen	497
Isanomalien, thermische	467
Isobaren	623
Isobarometrische Linien	581
Isochimenen	454
Isodynamische Linien	746
Isogeothermen	534
Isogonische Linien	737
Isohyeten	662
Isohypsen	492
Isoklinische Linien	743
Isorachien	278
Isotheren	454
Isothermen	453
— in Gebirgsgegenden	492

J.

Jahr, bürgerliches	96
— tropisches	96
Jahresmittel, allgemeines	444
Jahreszeiten	424, 455
Jahresisothermen	453
Julianischer Kalender	97
Juno	160
Jupiter	154
— Axendrehung desselben	154

K.

Kalender	96
Kältepole	63
Kepler'sche Gesetze	14
Kern der Kometen	24
Kimmung	34
Klima	29
— Abhängigkeit desselben von der geographischen Breite	29
Knoten der Planetenbahnen	123, 142
— der Mondesbahn	16
Knotenlinie	13
Kometen	20
— Ausströmungen desselben	20
— Kern desselben	24
— Schweif desselben	20
— wiederkehrende	20
Kometenbahnen, scheinbare	24
— wahre	24
Krater	37
Küstenklima	29

L.

Landklima	29
Landwind	29
Laurentiustränen	20
Länge, astronomische	9
— des aufsteigenden Knotens	142
— des Perihels der Planetenbahnen	16
— geographische	34
— — Bestimmung desselben	5
Längenkreise auf der Erde	3
Leitstrahl	15
Leoniden	22
Libration des Mondes	19
Licht, Geschwindigkeit desselben	20
— Aberration desselben	20
Lichtkränze	24
Lichtringe	24
Litli Geysir	56
Limbus	3
Luft	29
— Bestandtheile desselben	29
— Durchsichtigkeit desselben	29
Luftelektricität	29
— Quelle desselben	29
— Variationen desselben	29
Luftkugel der Erde	29
Luftperspective	29
Luftspiegelung	29
Lunation	29

	Seite		Seite
M.		Mond, Libration desselben . . .	189
Abweichung	722	— Oberfläche desselben	191
en	734	— Parallaxe desselben	172
on	722	— Phasen desselben	166
.	774	— scheinbare Bahn desselben	165
on	728	— sein Einfluss auf die Witterung	598
t	731	— siderische Umlaufzeit desselben	166
.	737	— synodische Umlaufzeit desselben	166
e	743	Mondfinsternisse	176
n	758	Mondhöfe	405
ien	755	Mondkarten	194
r Aequator	745	Mondphotographie	195
s Potential	751	Mondringe	405
t	725	Mondsbahn, scheinbare	164
.	580	— Neigung derselben	169
.	153	— Excentricität derselben	169
Erde	266	— Knoten derselben	169
eten	259	— Störungen derselben	272
e	259	Monsune	604
hermometer	431	Moränen	512
.	146	Morgenroth	375
tronomischer	7	Morgenstern	148
nung desselben	19	Moussons	604
cher	743		
is	34	N.	
hen	26	Nachtlagen	9
ometer	433	Nadir	6
.	226	Nebel	651
.	223	— planetarische	329
e Geschwindigkeit		Nebelbilder	411
n	232	Nebelflecken	328
e Zusammensetzung		Nebelsterne	390
n	226	Nebensonnen	414
r derselben	333	Neigung der Mondsbahn	169
nheit derselben	226	— der Planetenbahnen	140
l derselben	234	Neptun	163
t	223	— Entdeckung desselben	270
.	61	Neumond	166
.	420	Nimbus	658
.	328	Nordlicht	763
ernometer	431	— Periodicität desselben	778
.	722	— Theorie desselben	779
.	33	Nordlichtkrone	773
.	7	Nordpol der Erde	55
.	33	— des Himmels	7
en	514	Nordpunkt	7
ermen	453	Nördliche Hemisphäre	7
l	444	Normalstationen	445
.	165	Novemberschwarz	240
ung desselben	167	Nutation	99
ng desselben	174		
desselben	191		
esselben	174		

	Seite	
O.		
Obere Conjunction	122	Planeten, Zeichen derselben
— Culmination	9	Planetarische Nebel
Occlusionen	172	Planetenbahnen, scheinbare
Ombrometer	655	— Elemente derselben
Opposition	122	— Excentricität derselben
Orkane	615	— Neigung derselben
Osten	7	Planetensysteme
Ostpunkt	7	Planetoiden
P.		
Pallas	160	Plateaus, Temperaturverhältn. derselben
Parallaxe	116	Plejaden
— der Fixsterne	285	Polarisation des Himmels — des Wassers
— des Mondes	172	Polarisationsphotometer
— der Sonne	116	Polariskop
Parallaktische Aufstellung	10	Polarkreise
Parallaktisches Statif	44	Polarlicht
Parallelkreise	29	Polarstern
— der Erde	55	Polaruhr
Passage-Instrument	34	Poldistanz
Passatwinde	601	Pole der Ekliptik
Pendel, Beweis der Abplattung der Erde durch dasselbe	67	— der Erde
— Länge des Secundenpendels in verschiedenen Breiten	68	— des Himmels
Pendelversuch, Foucault's	68	— magnetische
Penumbra	297	Polhöhe
Perigäum	101	Präcession
Perihel	116	— Erklärung derselben
Perihel der Planetenbahnen	145	Protuberanzen
Perseiden	242	— Beobachtung derselben
Perturbationen	269	— Spectrum derselben
Phasen des Mercur	146	Psychrometer
— des Mondes	166	Ptolemäisches System
— der Venus	147	
Photographie der Sonnenfinsterniss von 1868	244	Q.
Photometrische Vergleichung der Fixsterne	314	Quadratur
Photosphäre	297	Quellentemperatur
Planeten	121	
— Epoche derselben	142	R.
— mittlere Entfernung derselben von der Sonne	140	Radiationspunkt
— obere	122	Radius vector
— siderische Umlaufzeit derselben	143	Rechtläufig
— untere	122	Rectascension
— Spectrum derselben	320	— einiger Sterne
— Winkelgeschwindigkeit derselben	143	Refraction, atmosphärisch
		Regelation
		Regen
		Regenbogen
		Regenkarten
		Regenmenge
		Regenmesser
		Regentage
		Regenwolken

	Seite
irende Instrumente	435
rometer	571
grometer	635
.	651
heodolit, magnetisches	725
tion, siderische	123
odische	123
.	193
les Saturn	157
ebirge des Mondes	192
ang der Aequinoctialpunkte	97
ufig	121
schlag	714

S.

re magnetische Variationen	755
elapparate, elektrische	685
a	610
ten	165
.	157
re's Hygrometer	632
jahr	97
tag	97
lation	357
twolken	653
e der Ekliptik	80
.	669
be desselben	671
efelder	496
gränze	496
kryställchen	669
ukungen, barometrische	570
if der Kometen	203
einbare Länge desselben	203
are Länge desselben	215
re, allgemeine	250, 254
der Oberfläche verschiede-	
r Himmelskörper	267
re Variationen des Klimas	486
lenpendel	68
icht	395
na	468
id	600
t	92
eter	664
che Umlaufszeit der Plane-	
n	123
Mondes	166
.	611
.	611
alcolor	80
alpunkte	80
ium	80

Sonne, Dimensionen derselben	119
— Dichtigkeit derselben	266
— Entfernung derselben	116
— Masse derselben	257
— Ortsveränderung derselben am	
Himmelsgewölbe	77
— physische Constitution dersel-	
ben	308
Sonnenatmosphäre	301
Sonnenäquator	295
Sonnenfackeln	297
Sonnenfinsterniss von 1868	303
Sonnenfinsternisse	183
Sonnenflecken	296
— Periodicität derselben	296
Sonnenglas	24
Sonnenparallaxe	118
Sonnenuhr	94
Sonnenwende	80
Sonnenzeit	10, 83
Spectrum der Protuberanzen	304
— der Fixsterne	334
— der Planeten	380
— der Kometen	340
— des Zodiakallichtes	314
— des Blitzes	711
— des Nordlichtes	778
Springfluth	275
Springquellen	544
Stationär	122
Steinmeteorite	226
Sternbedeckungen	171
Sternbezeichnung	13
Sternbilder	6, 11
Sterne, farbige	325
— Funkeln derselben	357
— Grössen derselben	12
— photometrische Vergleichung	
derselben	314
— teleskopische	12
— temporäre	324
— veränderliche	322
Sternhaufen	331
Sternkarten	12
Sternnamen	13
Sternschnuppen	238
— periodische	240
Sterntag	10
Sternzeit	10
Stirnwälle	513
Störungen	268
— der Kometen	271
— der Mondbahn	272
— magnetische	758

	Seite
Stierne	530
Strahlung, nächtliche	529
Stratus	653
Strokkur	547
Stundenkreis	28
Stundenring	86
Stundenwinkel	29
Stürme	615
Sturmtheorie Dove's	617
Süden	7
Südliche Hemisphäre des Himmels	7
Südlicht	777
Südpol der Erde	65
Südpunkt	7
Synodische Umlaufzeit der Planeten	143
— — des Mondes	166
Syzygien	166

T.

Tagbogen	9
Tagesdauer	110
Tageshelle	372
Temperatur, mittlere	443
— der Luft	443
— des Bodens	530
— der Bohrlöcher	535
— höherer Luftregionen	489
— der Quellen	543
— des Weltraumes	528
— der Meeresoberfläche	560
— der Meerestiefen	562
— der Seen und Flüsse	558
Tellurische Linien im Spectrum	378
Terminsbeobachtungen	759
Thalwind	600
Thau	650
Thaupunkt	636
Theodolit	21
— magnetisches	725
Thermen	544
Thermometer	428
Thermometrograph	431
Thierkreis	82
Tornados	616
Trabanten	165
— des Jupiter	197
— des Saturn	201
— des Uranus	201
Treibeis	564
Trockenheit der Luft	648
Tromben	620
Tropen	422

Tychonisches Planetensystem	131
Tyfoons	630

U.

Udometer	65
Uhren, galvanisch-registrierend	5
Umlaufzeit, synodische	13
— siderische	13
— tropische	12
— synodische der Planeten	13
— siderische der Planeten	13
Ungleichheiten des Planetenlaufes	13
Untere Planeten	12
— Conjunction	12
— Culmination	1
Uranus	13

V.

Variationen, barometrische	56
— magnetische	73
— seculare des Klimas	41
— des Wassergehaltes der Luft	63
Venus	16
— Atmosphäre derselben	12
— Grösse derselben	12
— Phasen derselben	12
Venusdurchgang	12
Verdunstung	63
Verfinsterung der Jupitertrabanten	19
Veränderlichkeit der Witterungsverhältnisse	12
Veränderlichkeit monatlicher Temperatur-Mittel	64
Vesta	12
Vollmond	12
Vulcan	12

W.

Wald, sein Einfluss auf das Klima	72
— — auf die Regenmenge	72
Wagebarometer	12
Wallebenen	12
Wassergehalt der Luft	63
— absoluter und relativer	63
Wasserhosen	63
Weltaxe	12
Wendekreise	12
Wendestunden	12
Westen	12
Westpunkt	12

	Seite
Leuchten	712
Leuchtsäulen	620
Maunstatt'sche Figuren	226
.	599
Entstehung derselben	599
.	609
höheren Breiten	604
.	601
.	606
.	608
.	617
.	420
.	622
.	652

Z.

	Seite
Zeichen der Ekliptik	82
Zeit, astronomische	11
— bürgerliche	11
— mittlere und wahre	83
Zeitbestimmung	88
Zeitgleichung	85
Zenith	6
Zenithdistanz	18
Zodiakallicht	311
Zodiacus	82
Zonen der Erde	108
— klimatische	422

B e r i c h t i g u n g.

Die Gleichung 3 am Schlusse der Seite 256 soll heissen:

$$G = h \frac{M}{K^2} \dots\dots\dots$$

Auf Seite 455 Zeile 22 von unten ist zu lesen: XVIII^a und XIX^a,
XVIII und XIX.

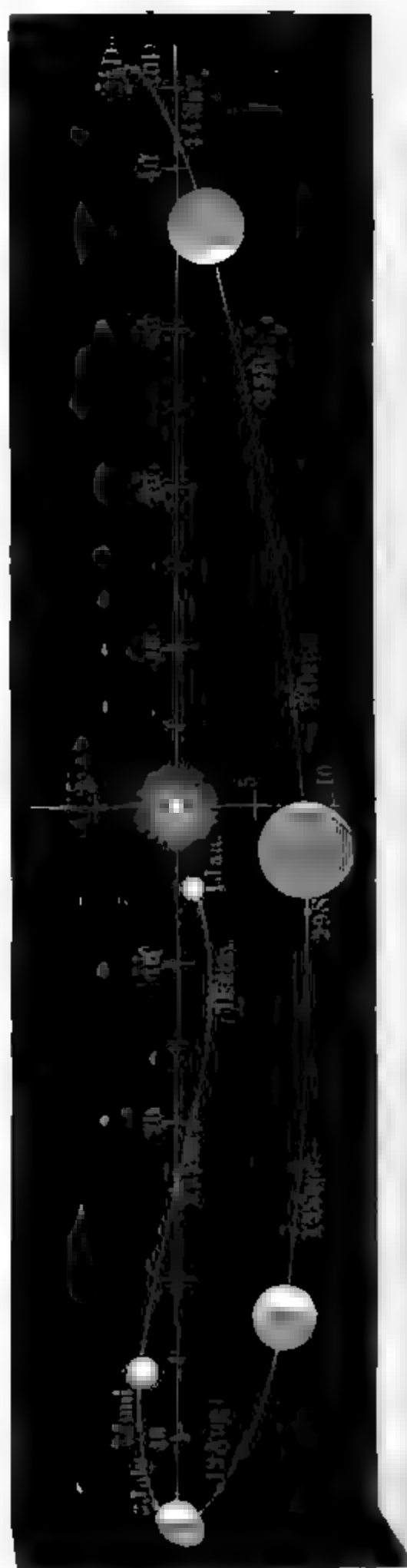




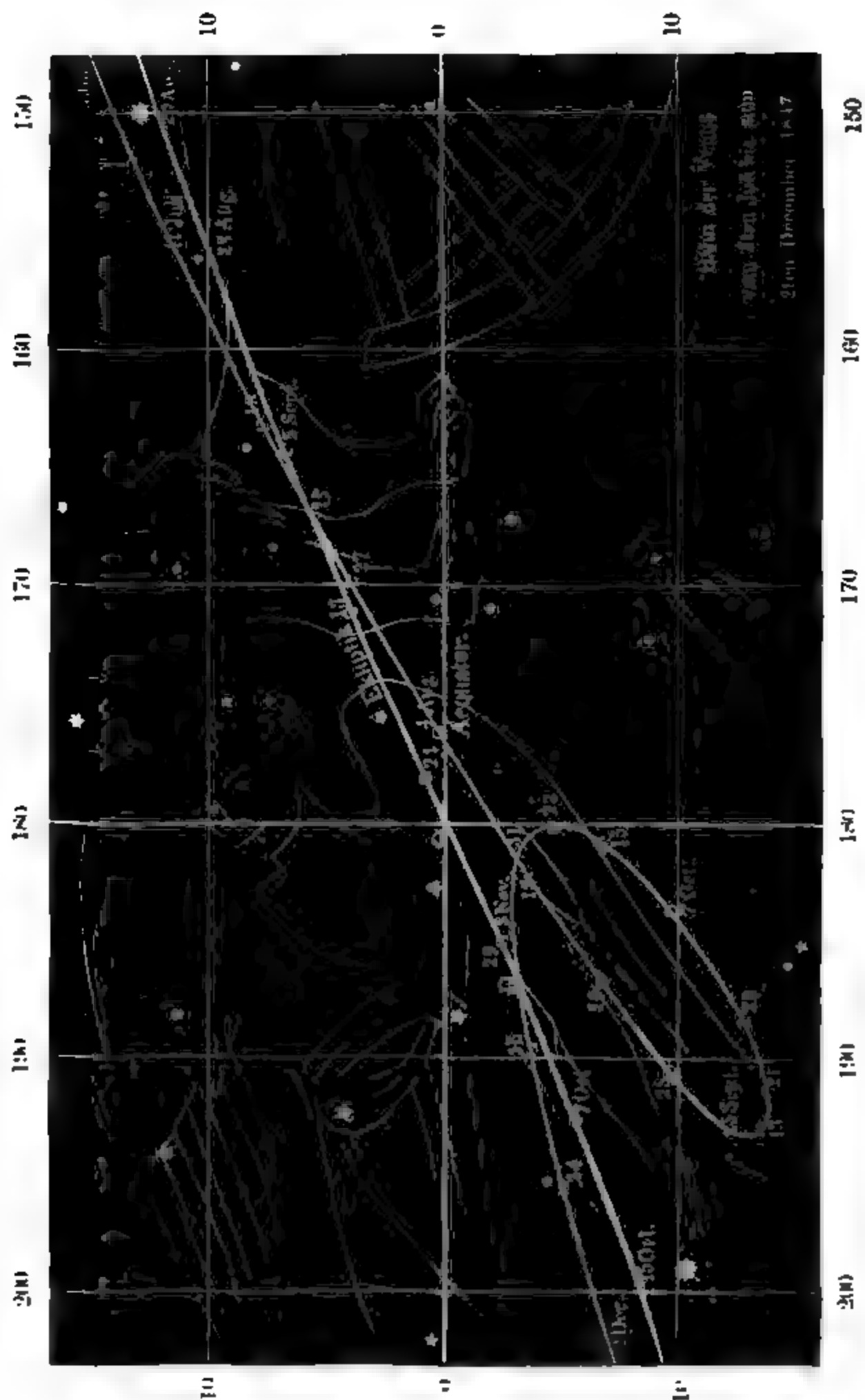
Fig. 1.



三

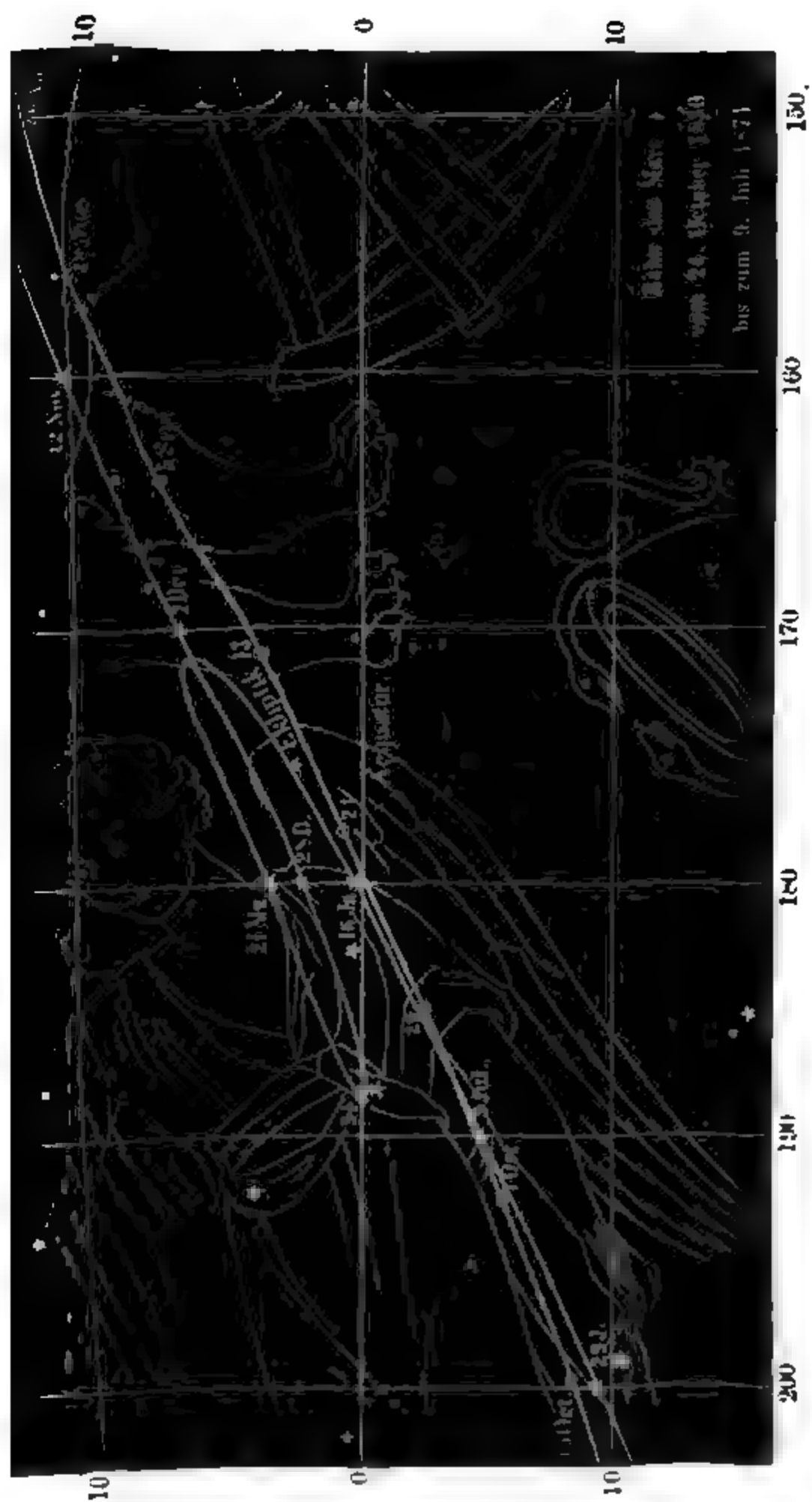




Tab. 4.





Tab. 6.

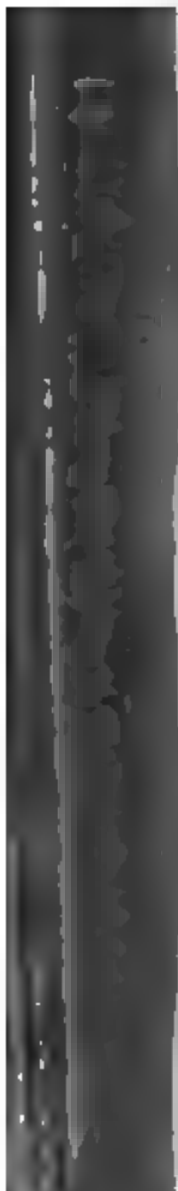


Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 1



Fig. 2





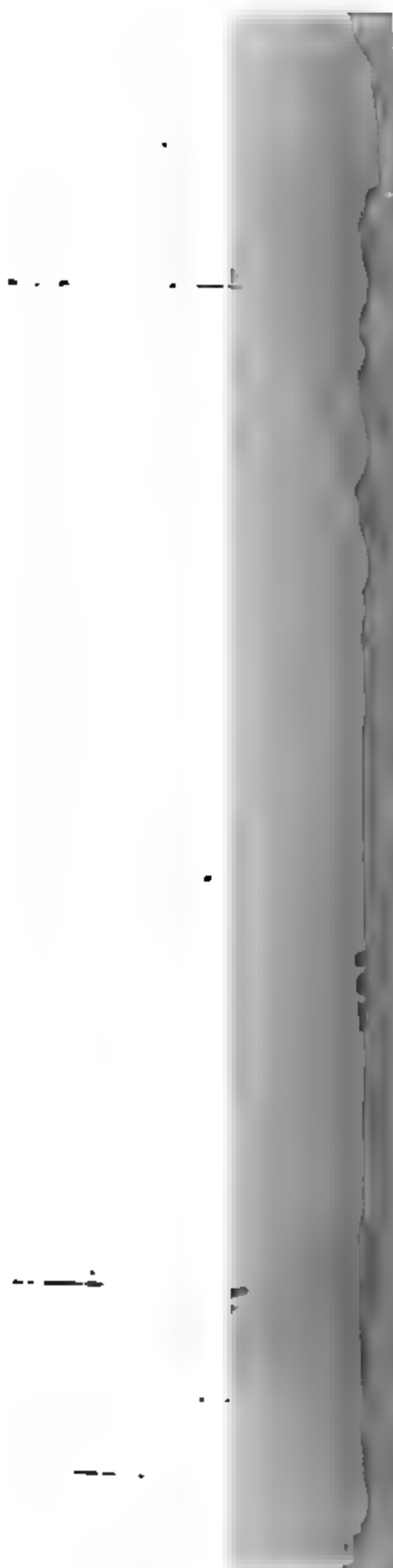


0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

Fig. 1
Position 160°
Zeit 10^h 22^m

1869 August 29

Fig. 2
Position 170°
Zeit 11^h 20^m



1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting.

2. The second part of the document outlines the various methods and techniques used to collect and analyze data. It includes a detailed description of the experimental procedures and the statistical analysis performed.

3. The third part of the document presents the results of the study. It includes a series of tables and graphs that illustrate the findings of the research. The data shows a clear trend of increasing values over time.

4. The fourth part of the document discusses the implications of the findings. It suggests that the results have significant implications for the field of study and may lead to further research in this area.

5. The fifth part of the document concludes the study. It summarizes the main findings and provides a final statement on the importance of the research.

Tab. 11.
Fig. 1.

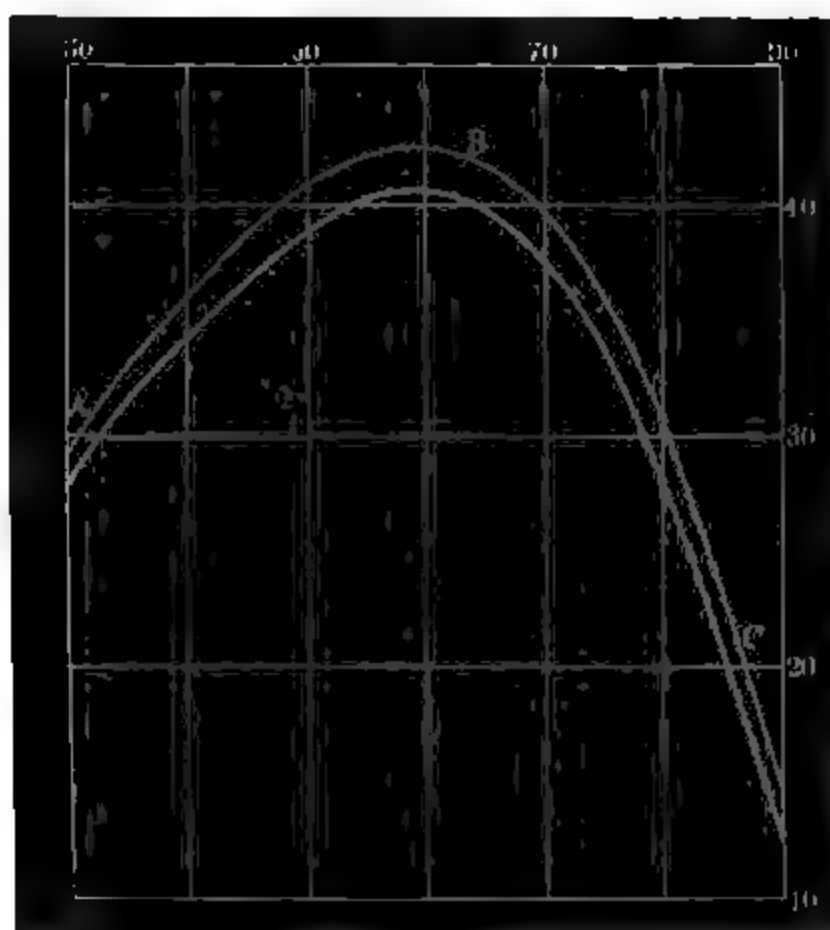
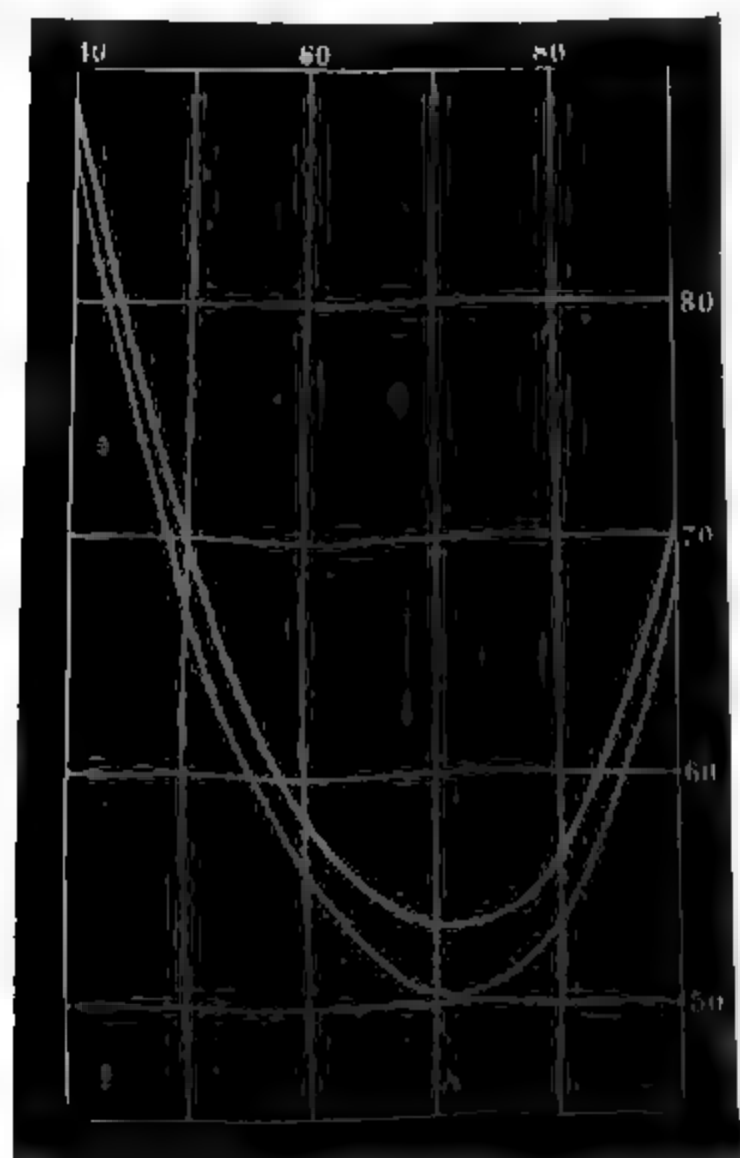


Fig. 2.





Tab. 12.

Fig. 1.

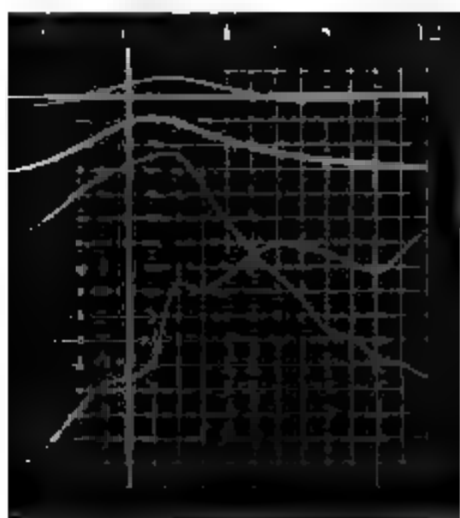


Fig. 2.

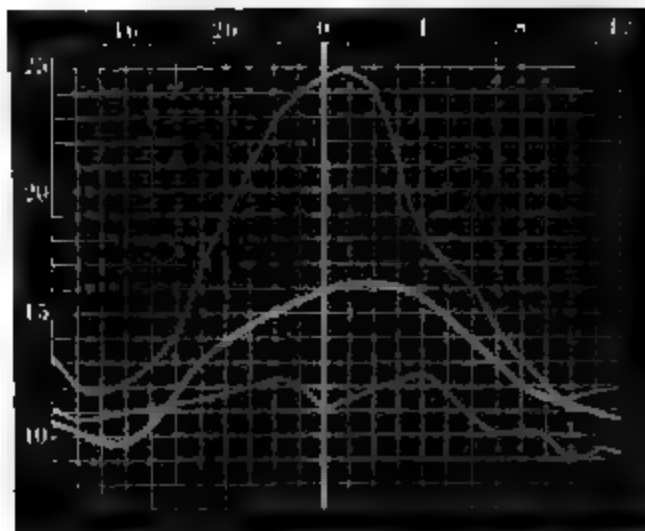
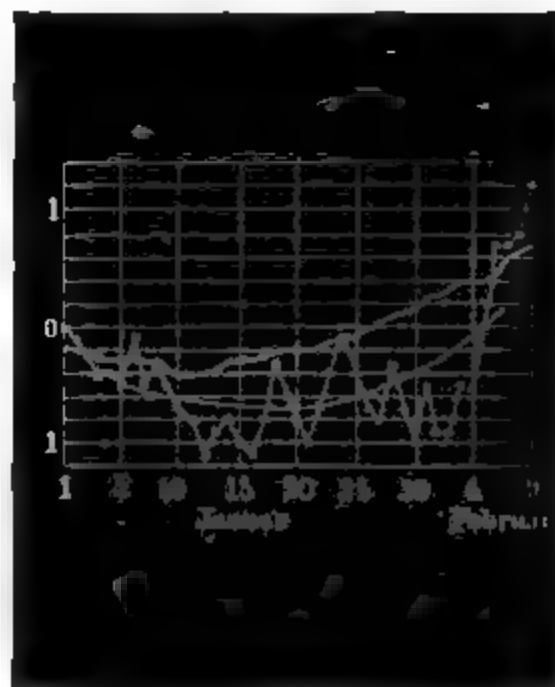


Fig. 3.

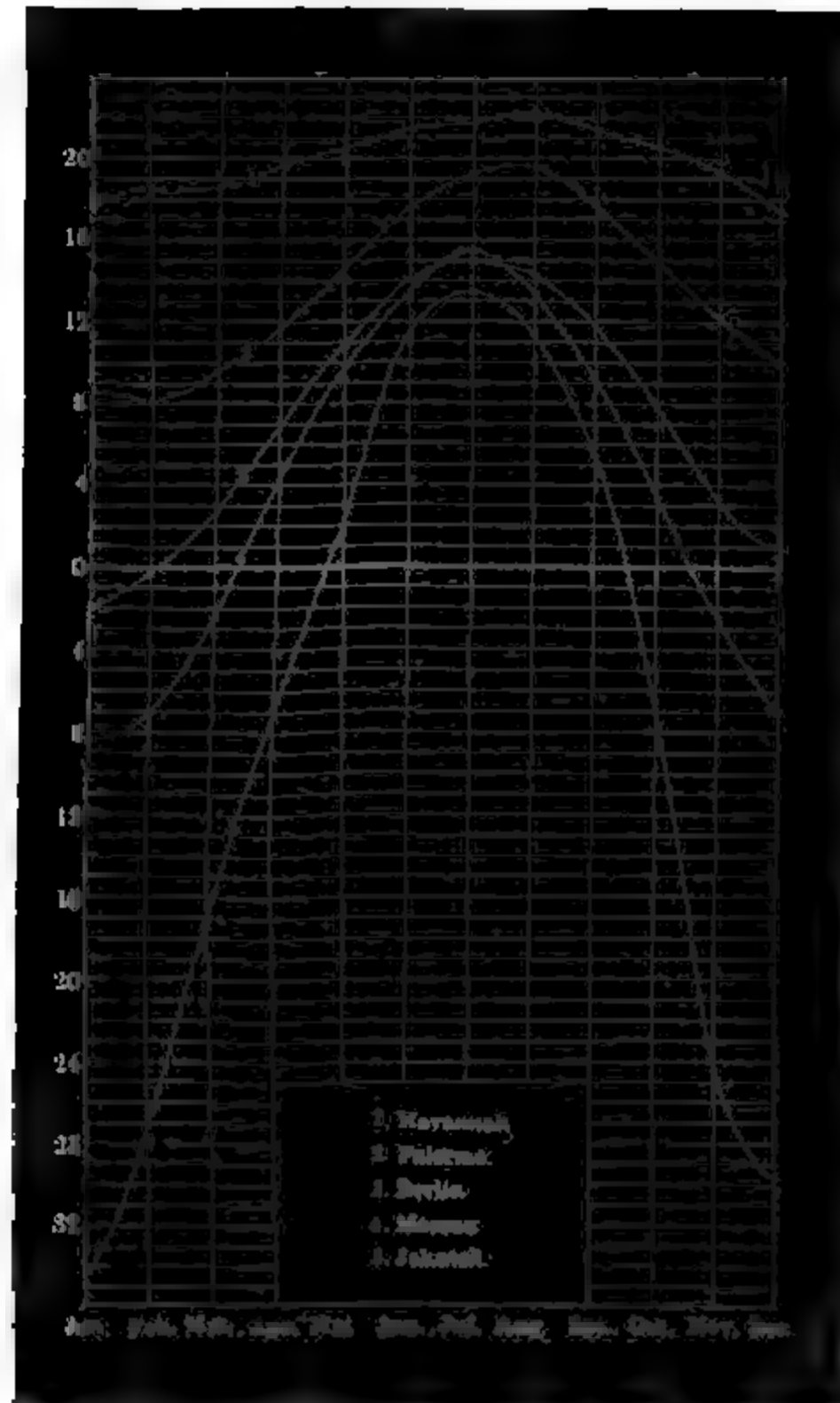


Fig. 4.





Tab. 13.





Tab. 14.

Fig. 2.

Fig. 1.

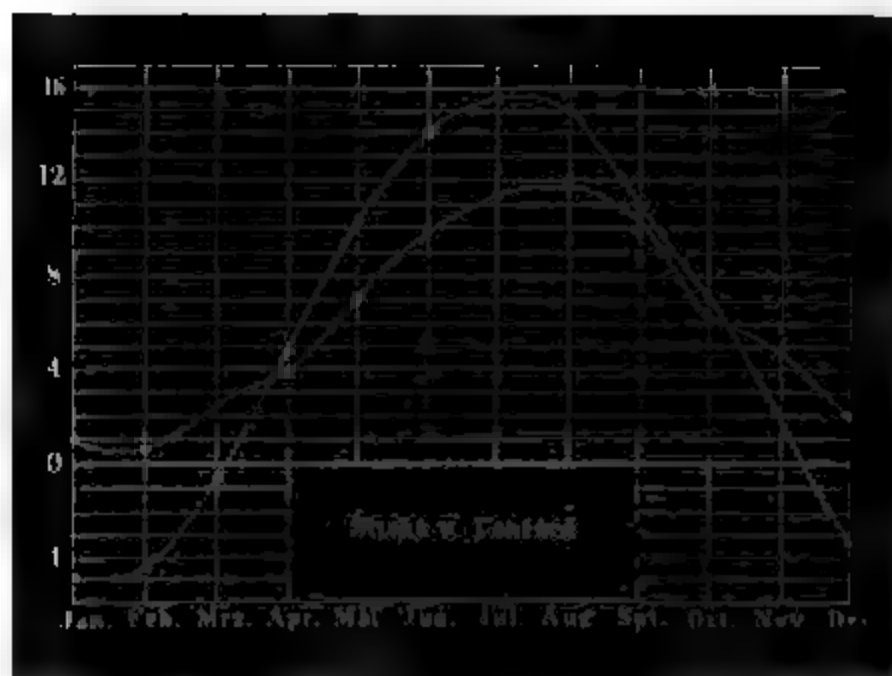
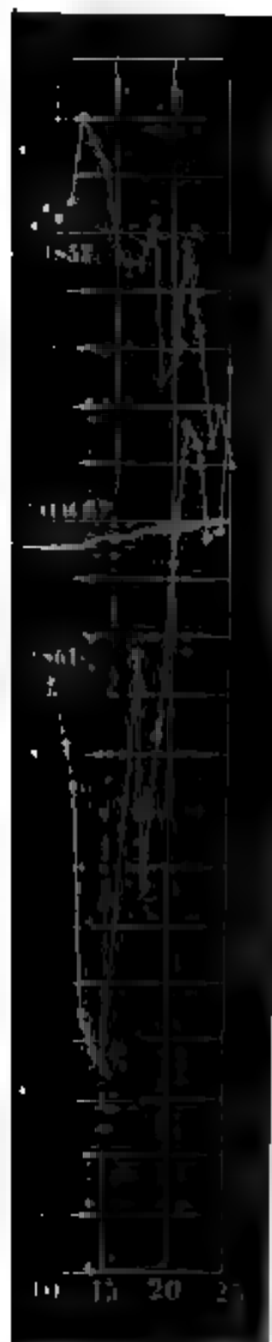


Fig. 3.

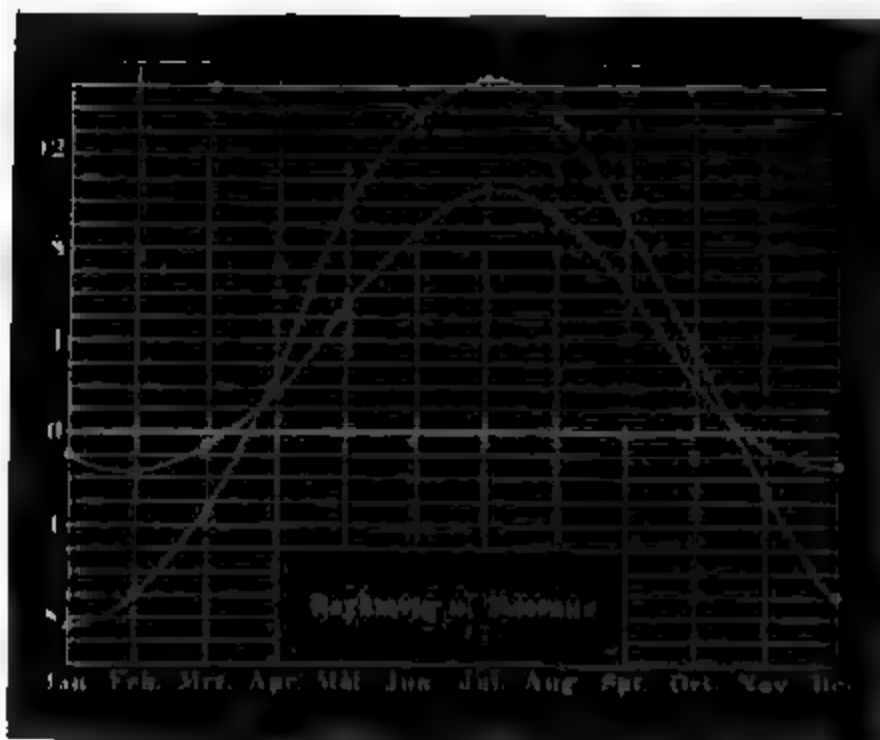
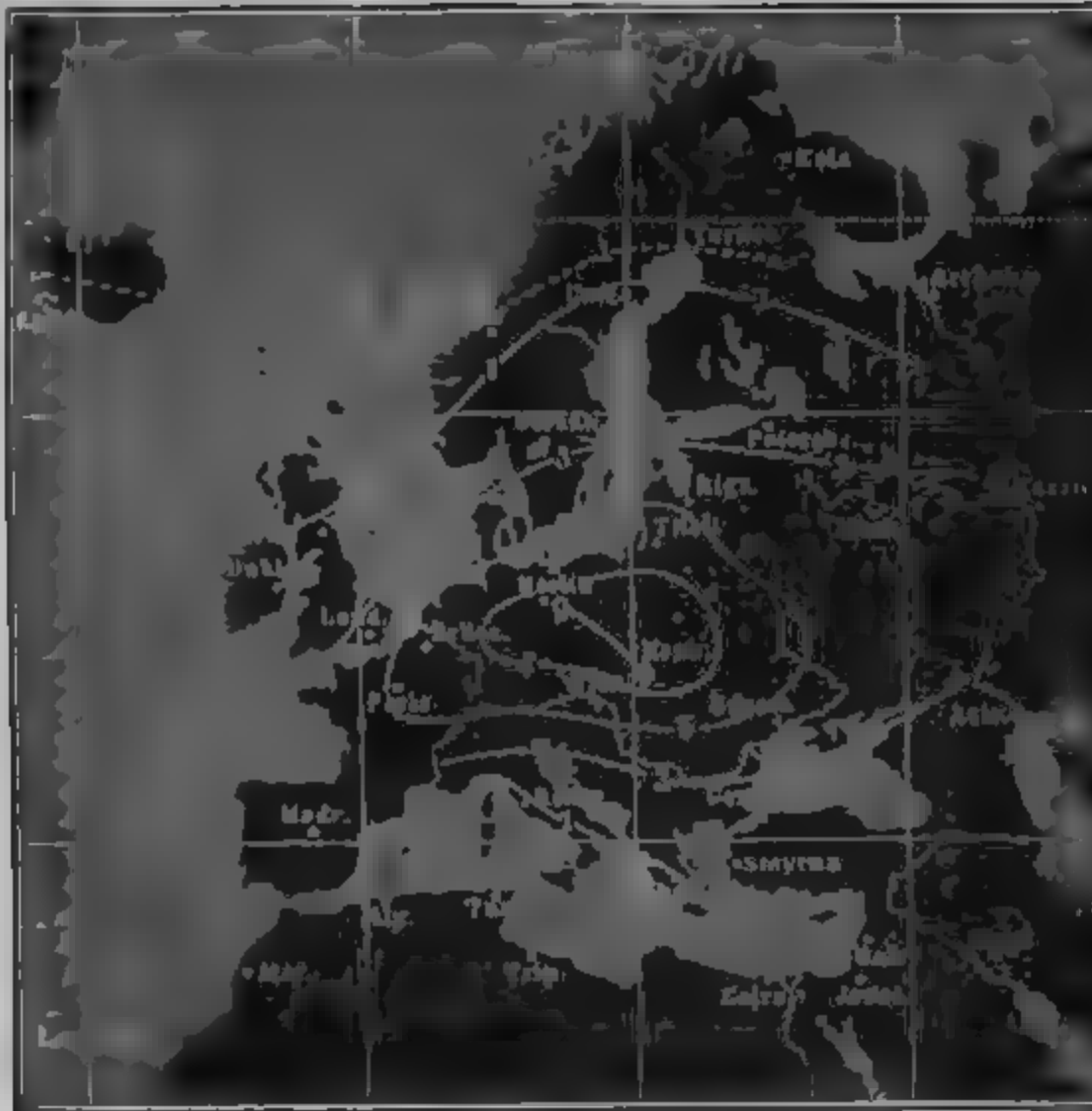




Fig. 1.



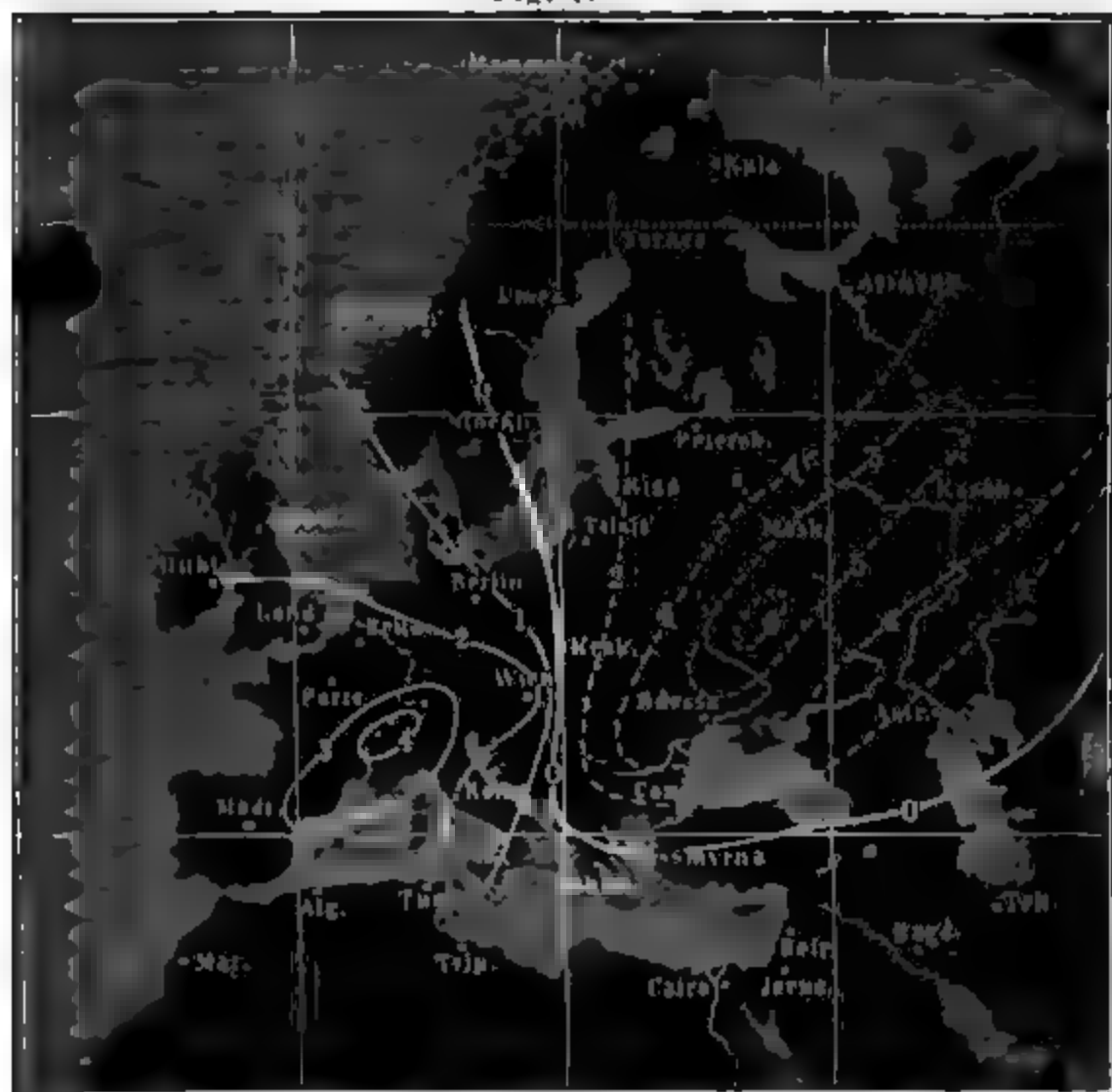
December 1829 — zu kalt - - - zu warm

Fig. 2



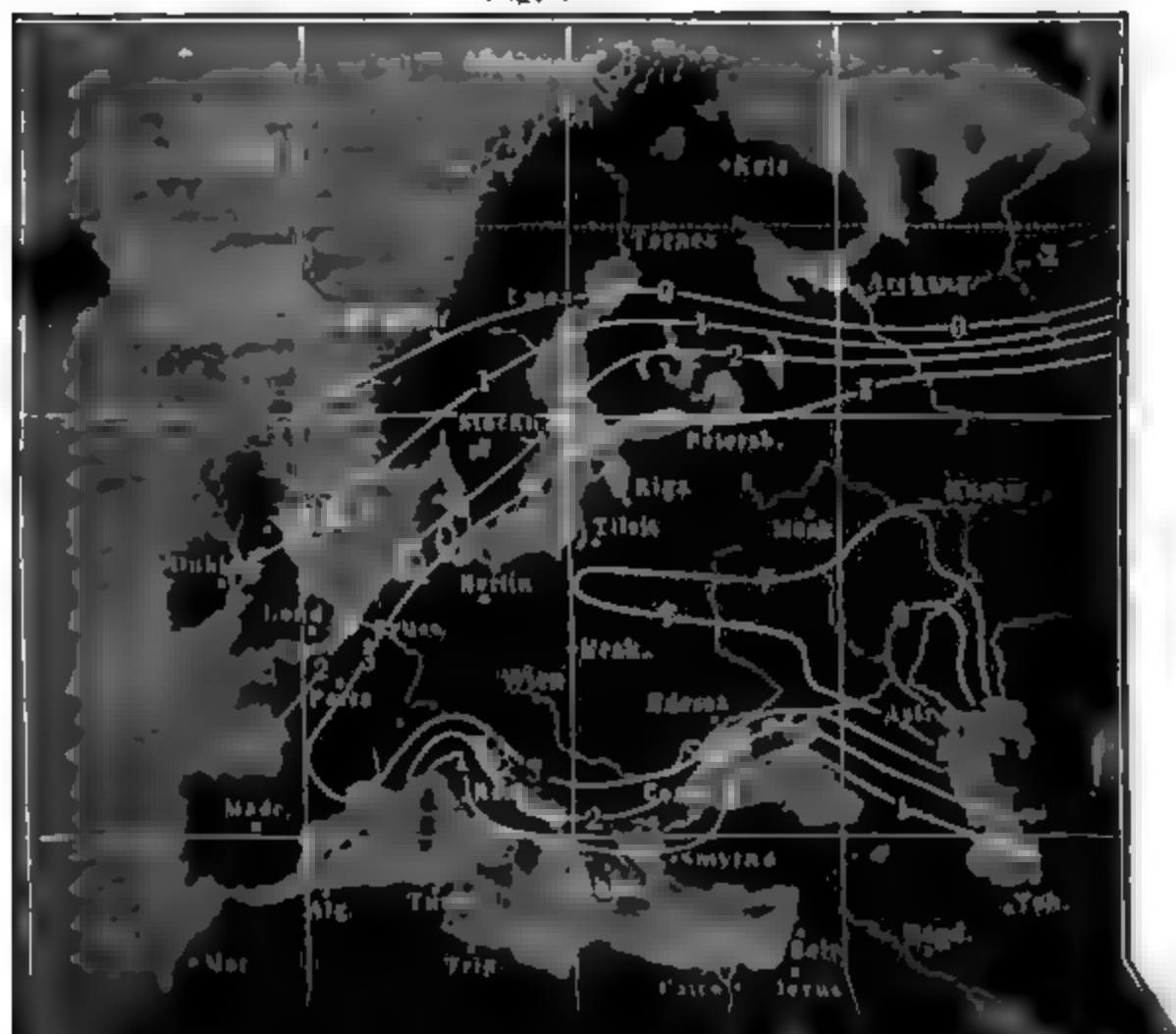


Fig. 1.



November 1851 ——— zu kalt - - - - zu warm

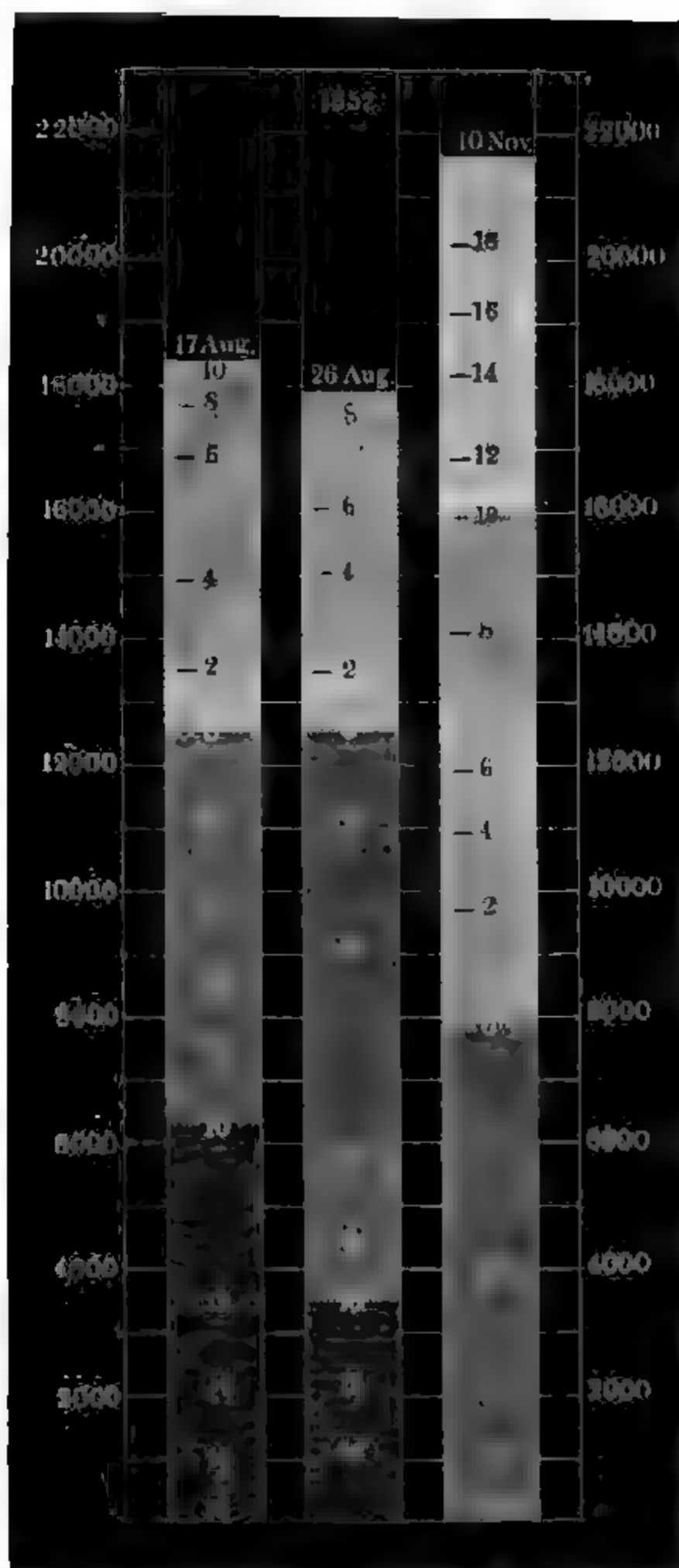
Fig. 2



November 1851 ——— zu kalt - - - - zu warm

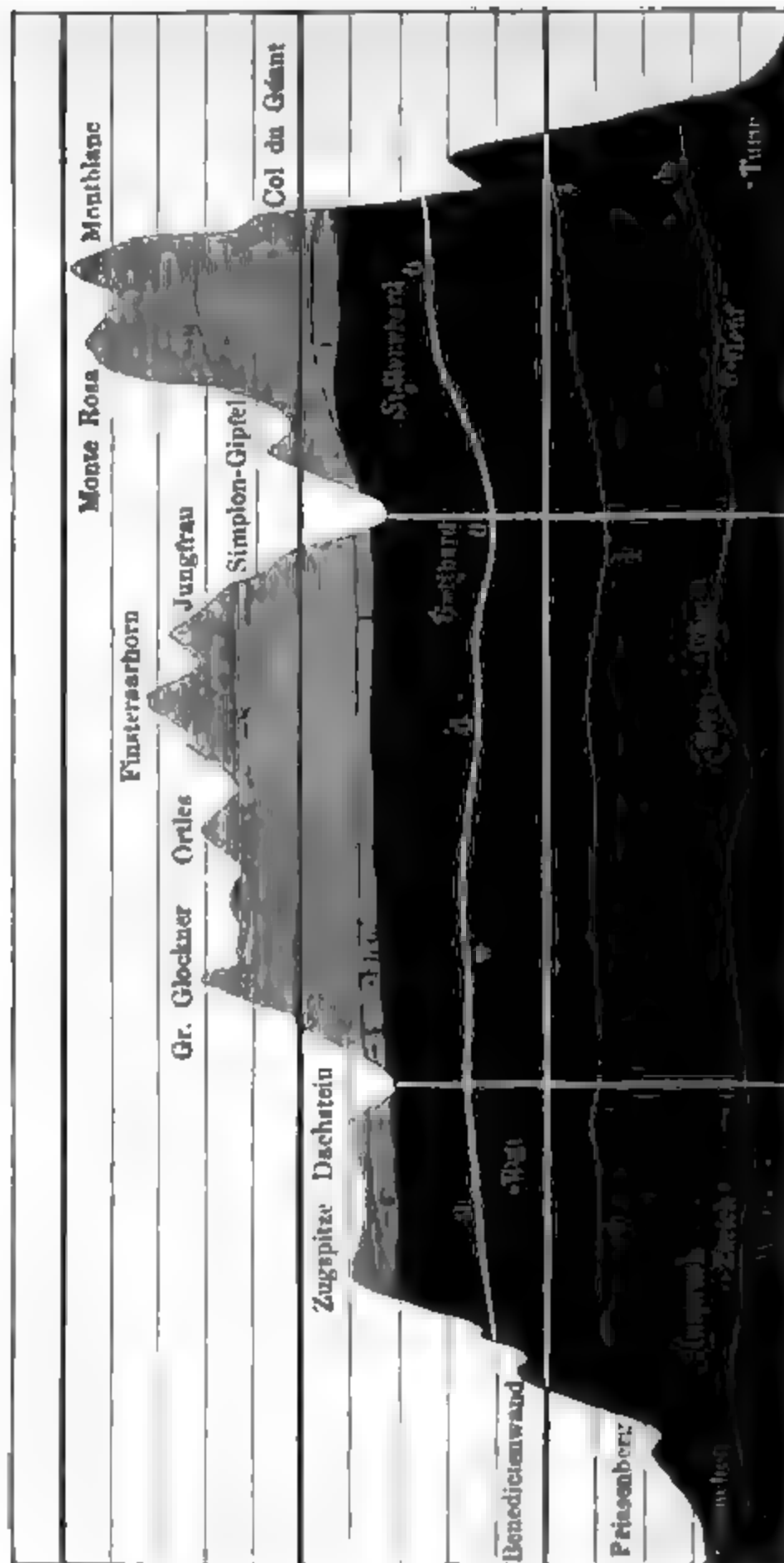
1877

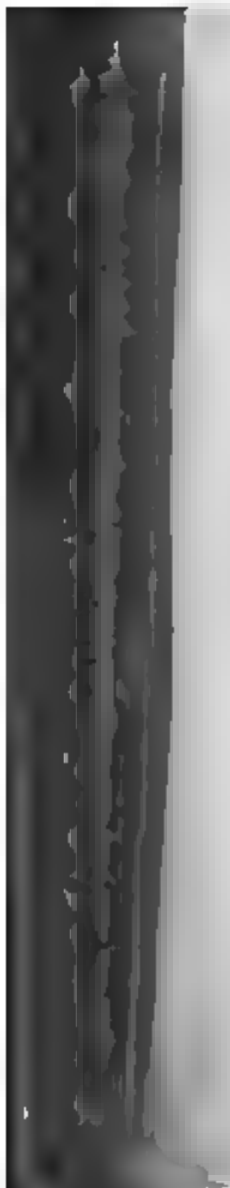
Tab. 17.





Tab. 18.





Tab. 19.

Fig. 1. Cumana.

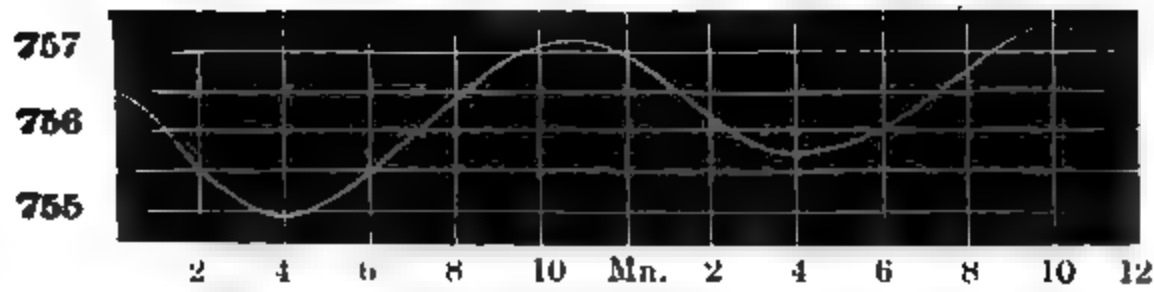


Fig. 2 Calcutta.

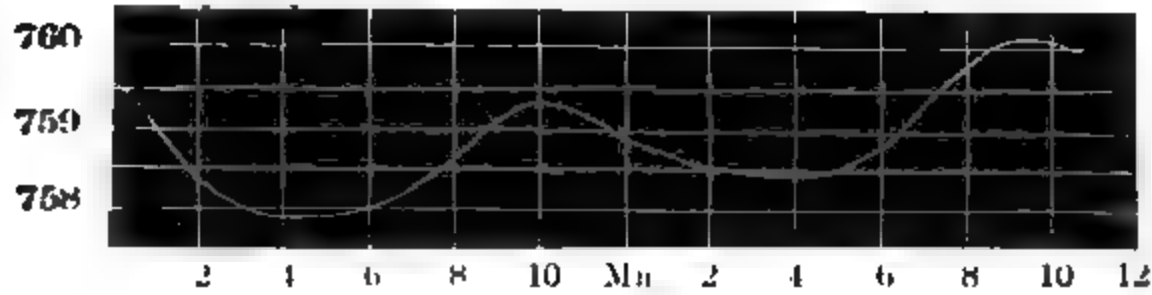


Fig. 3. Padua

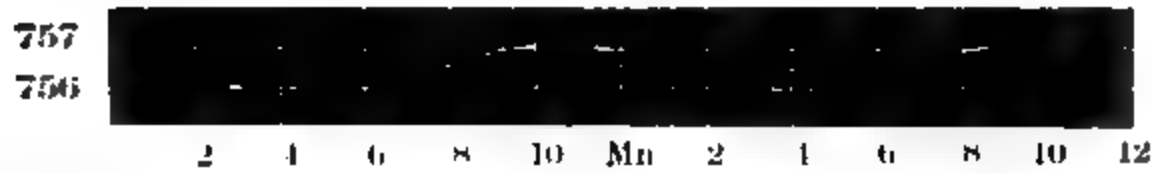


Fig. 4. Petersburg

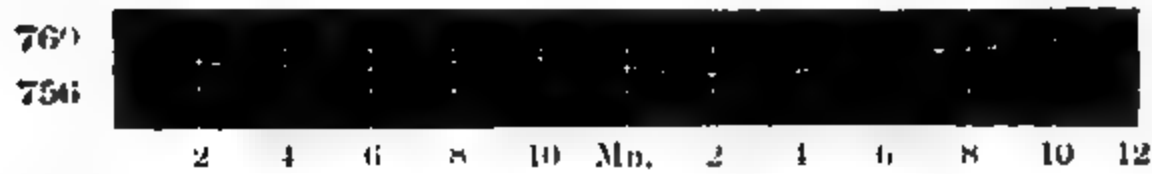


Fig. 5 Calcutta

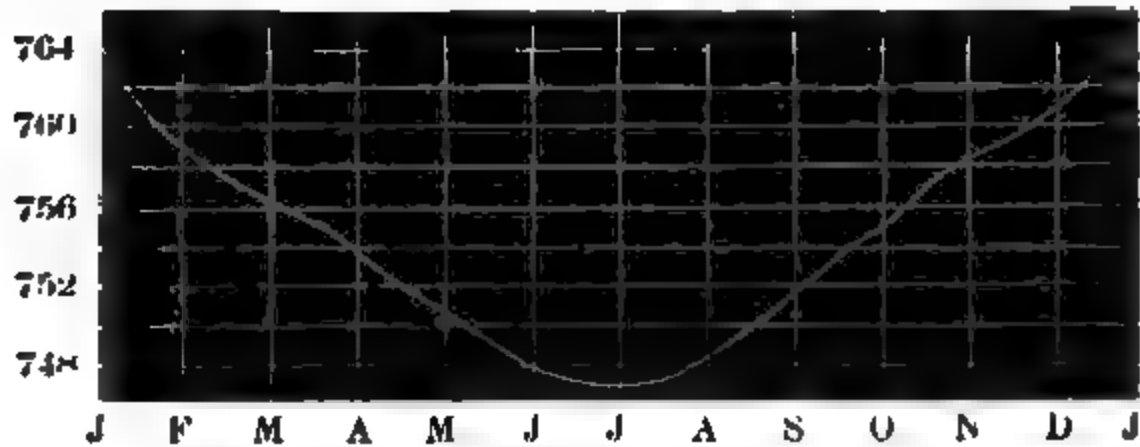
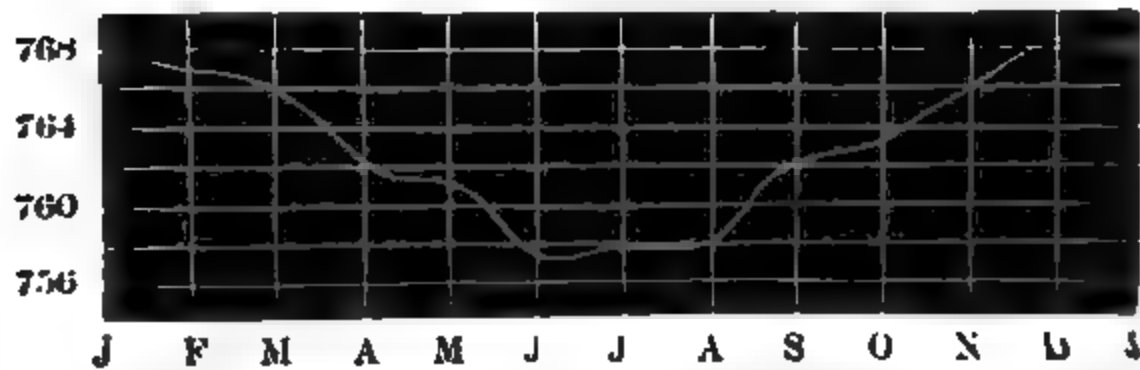


Fig. 6. Macao.





Tab. 20.
Fig. 1. Paris.



Fig. 2 Petersburg.



Fig. 3.

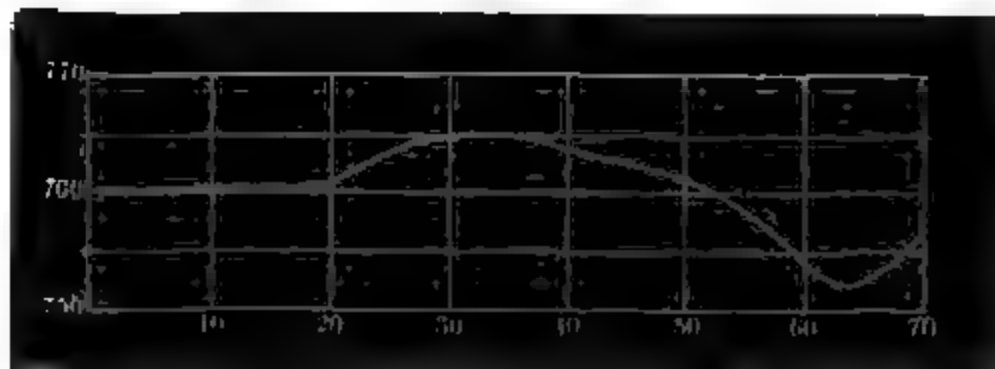
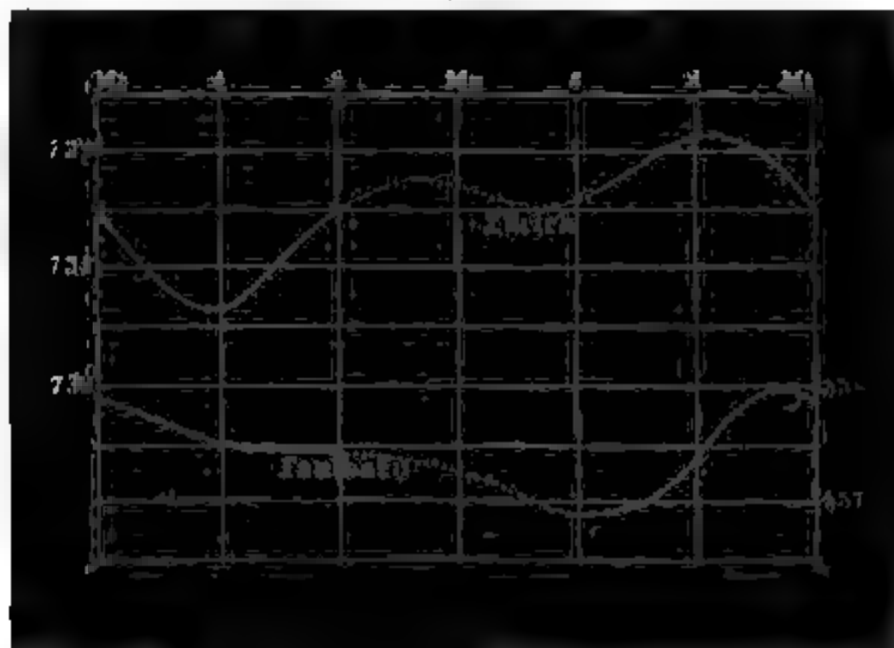
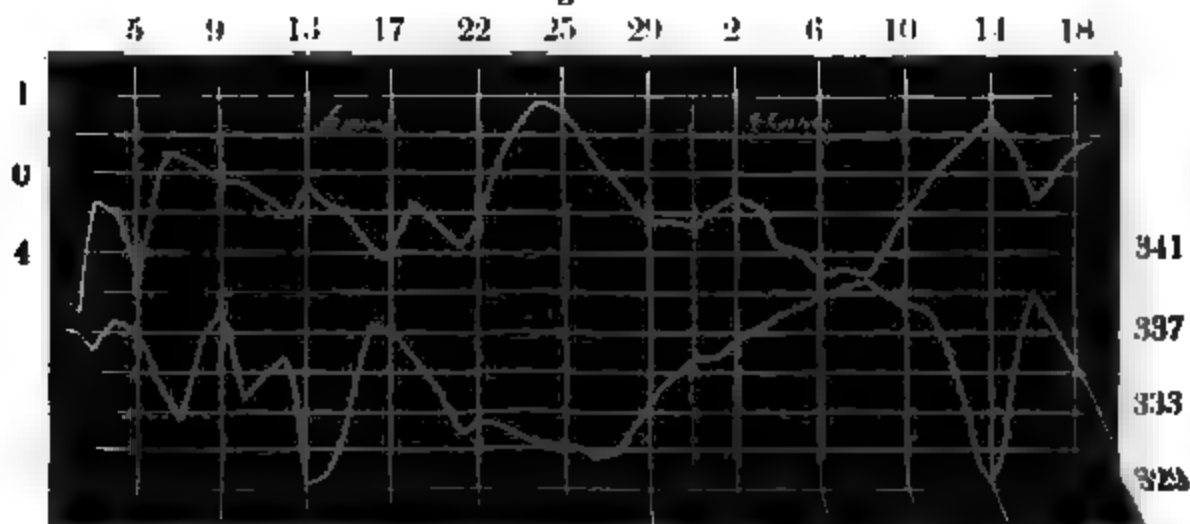
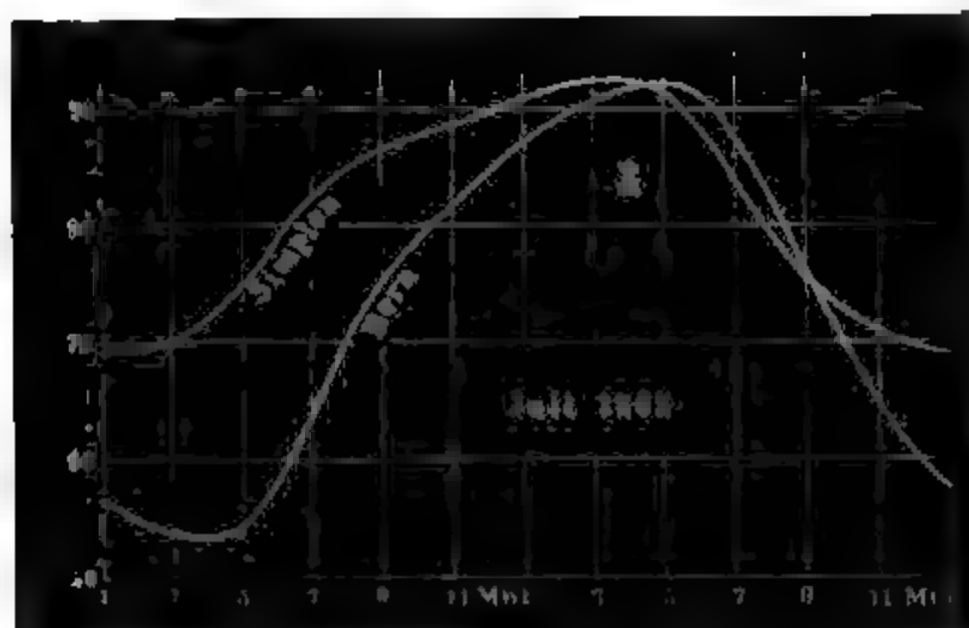
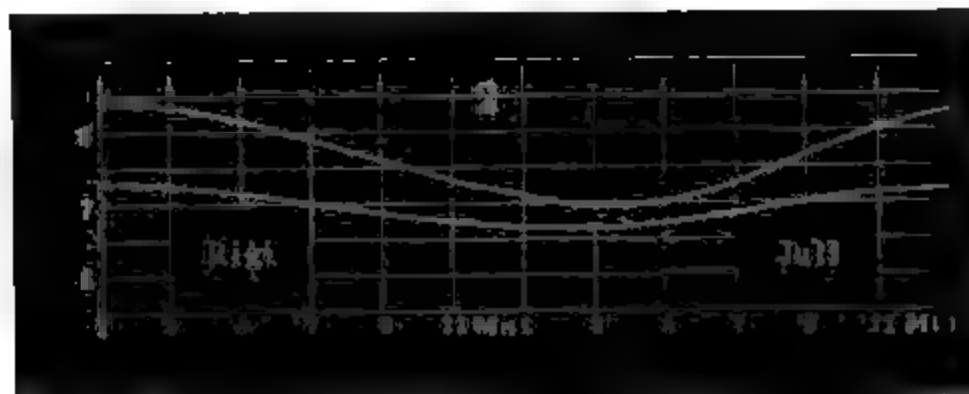
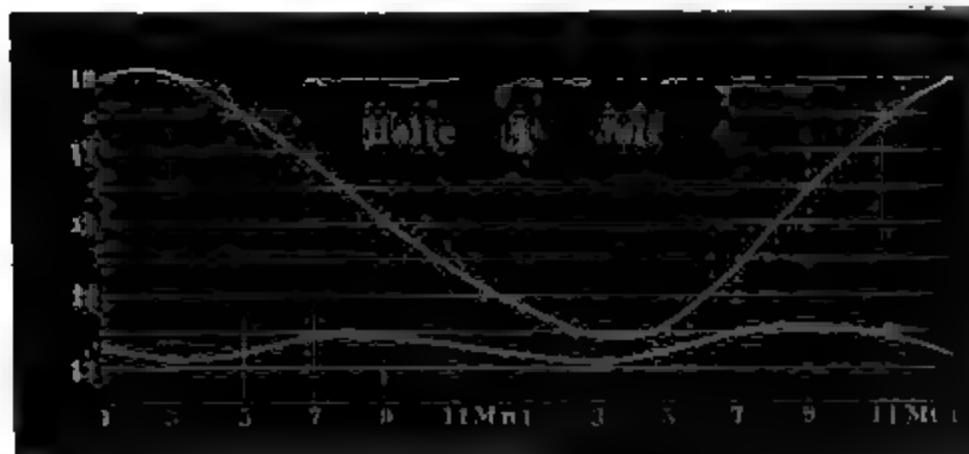


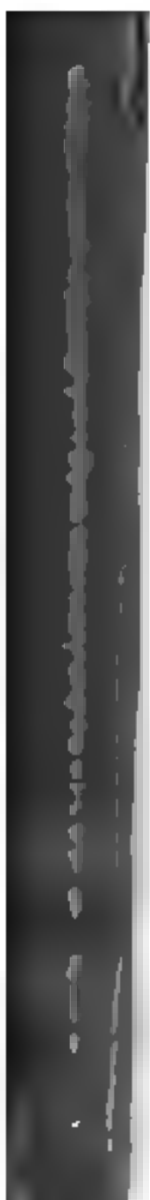
Fig. 5.



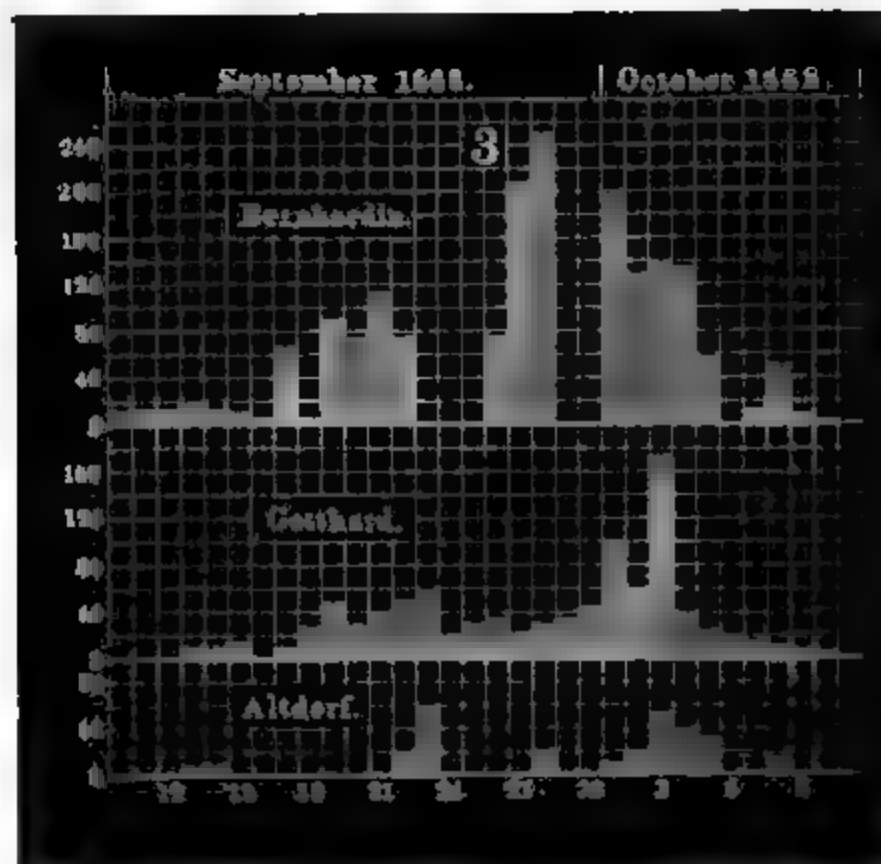
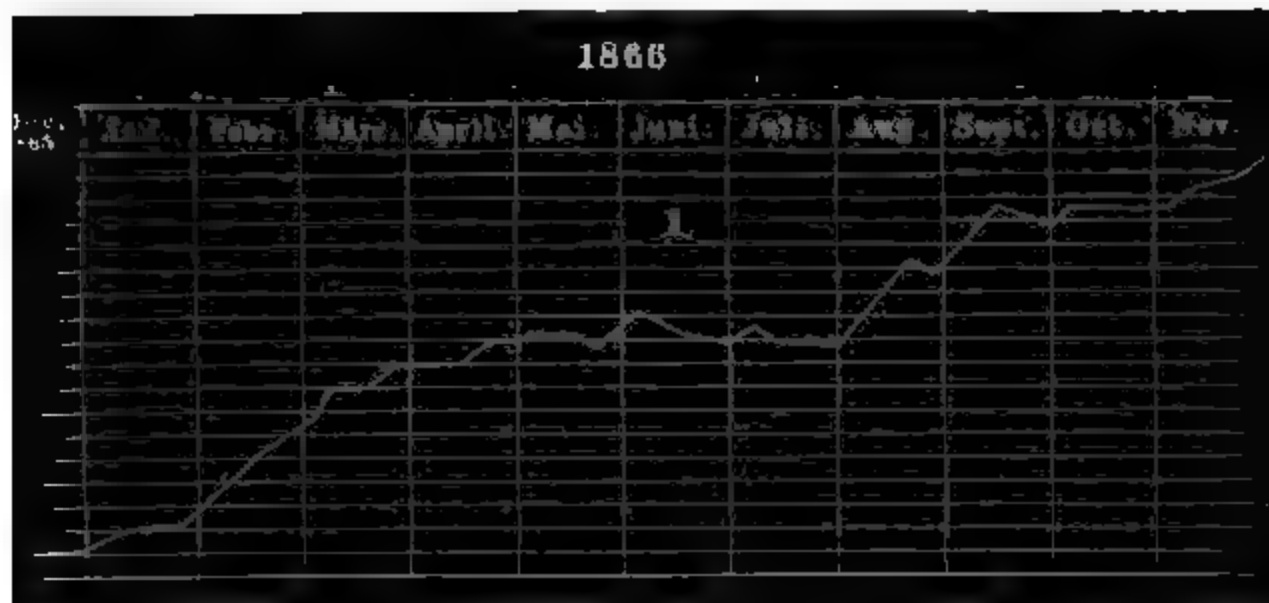


Atmosphärische Feuchtigkeit. Tab. 21.





Tab. 22.





Tab. 23.

Fig. 1.

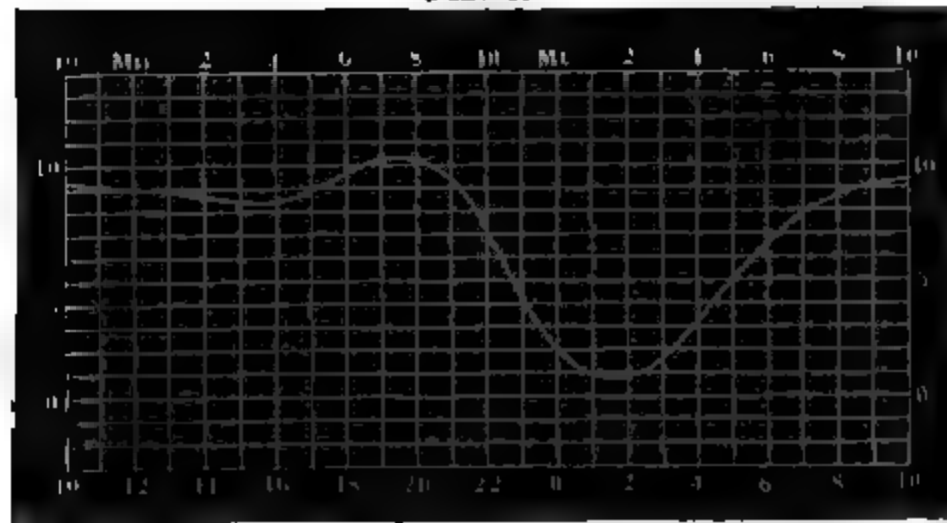
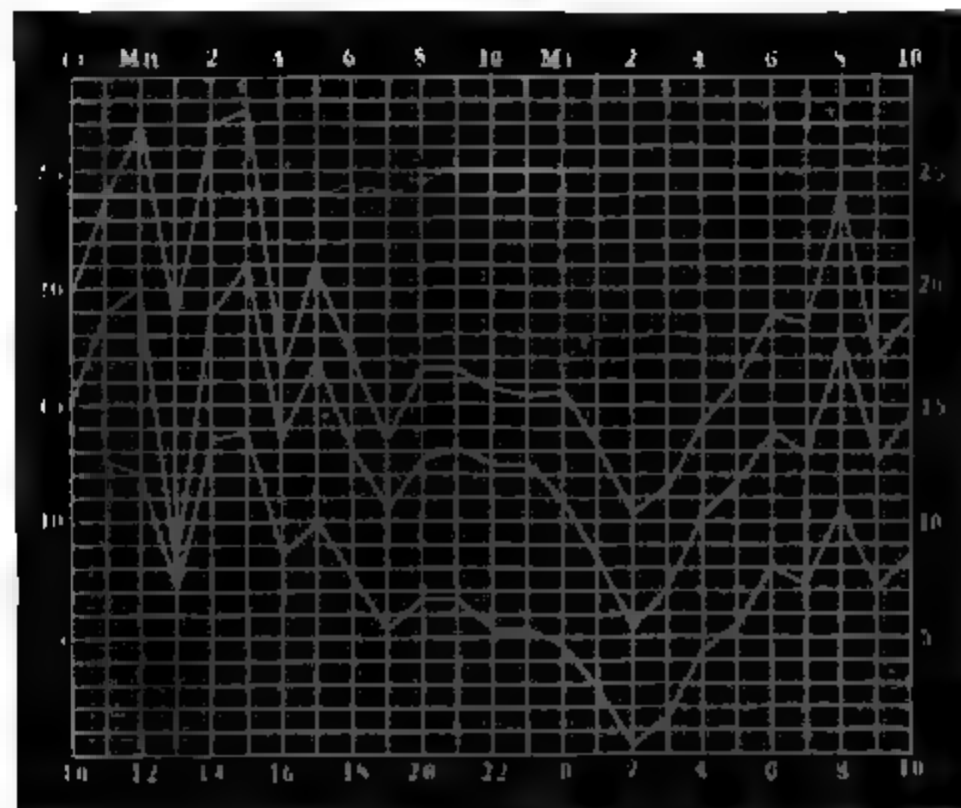
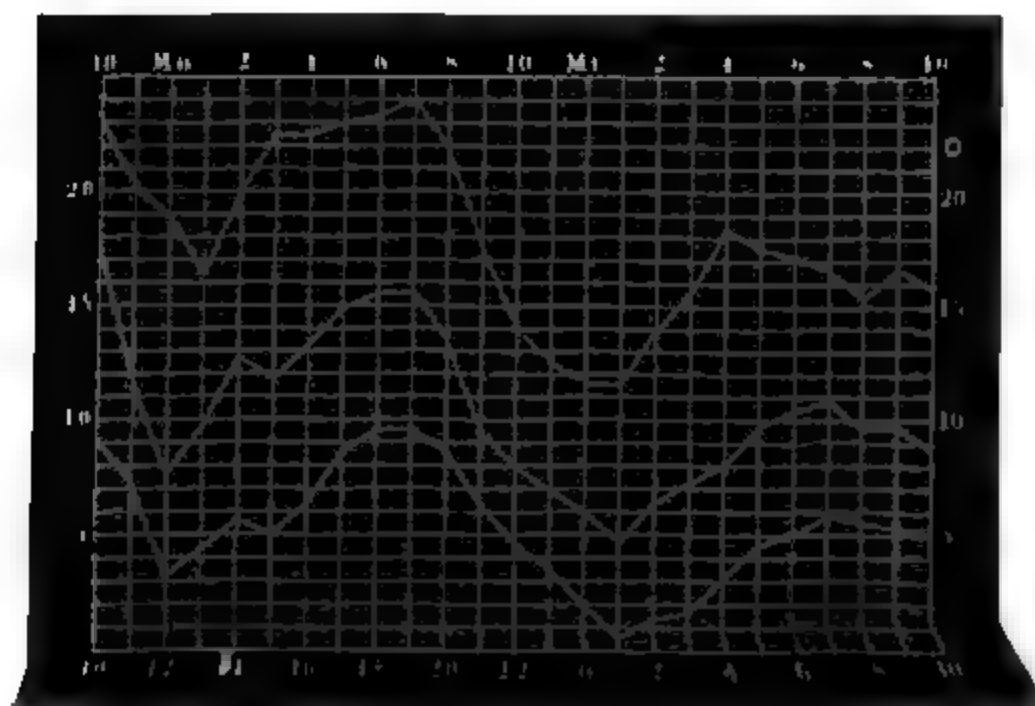


Fig. 2



Terminsbeobachtungen vom 26. und 27. Februar 1841.

Fig. 3.

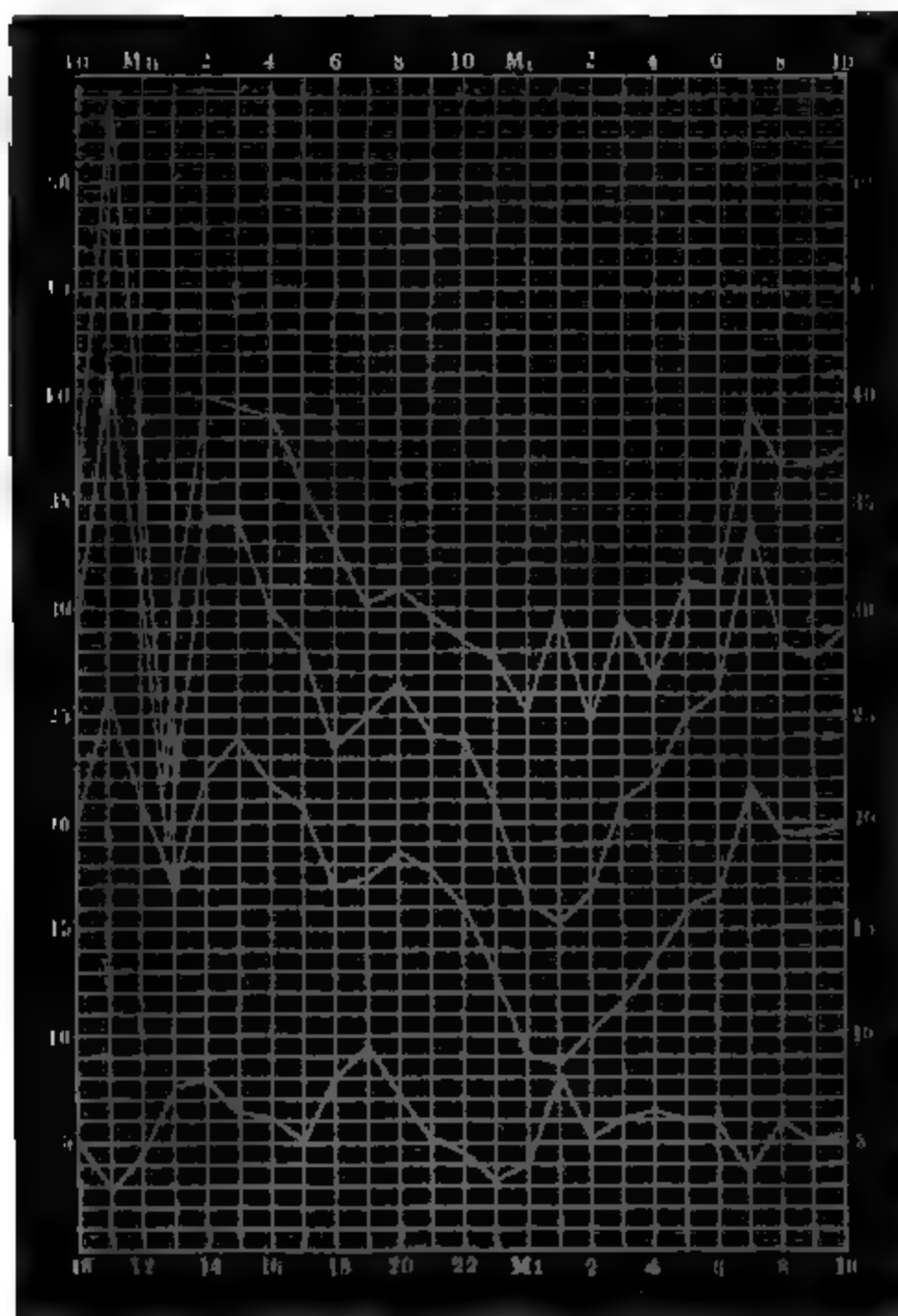


Terminsbeobachtungen vom 28. und 29. Mai 1841.



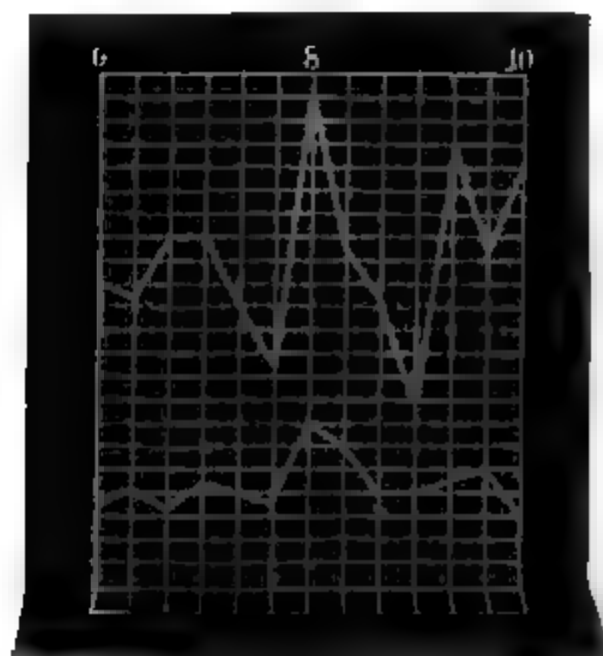
Tab. 24.

Fig. 1.



Terminalsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841.

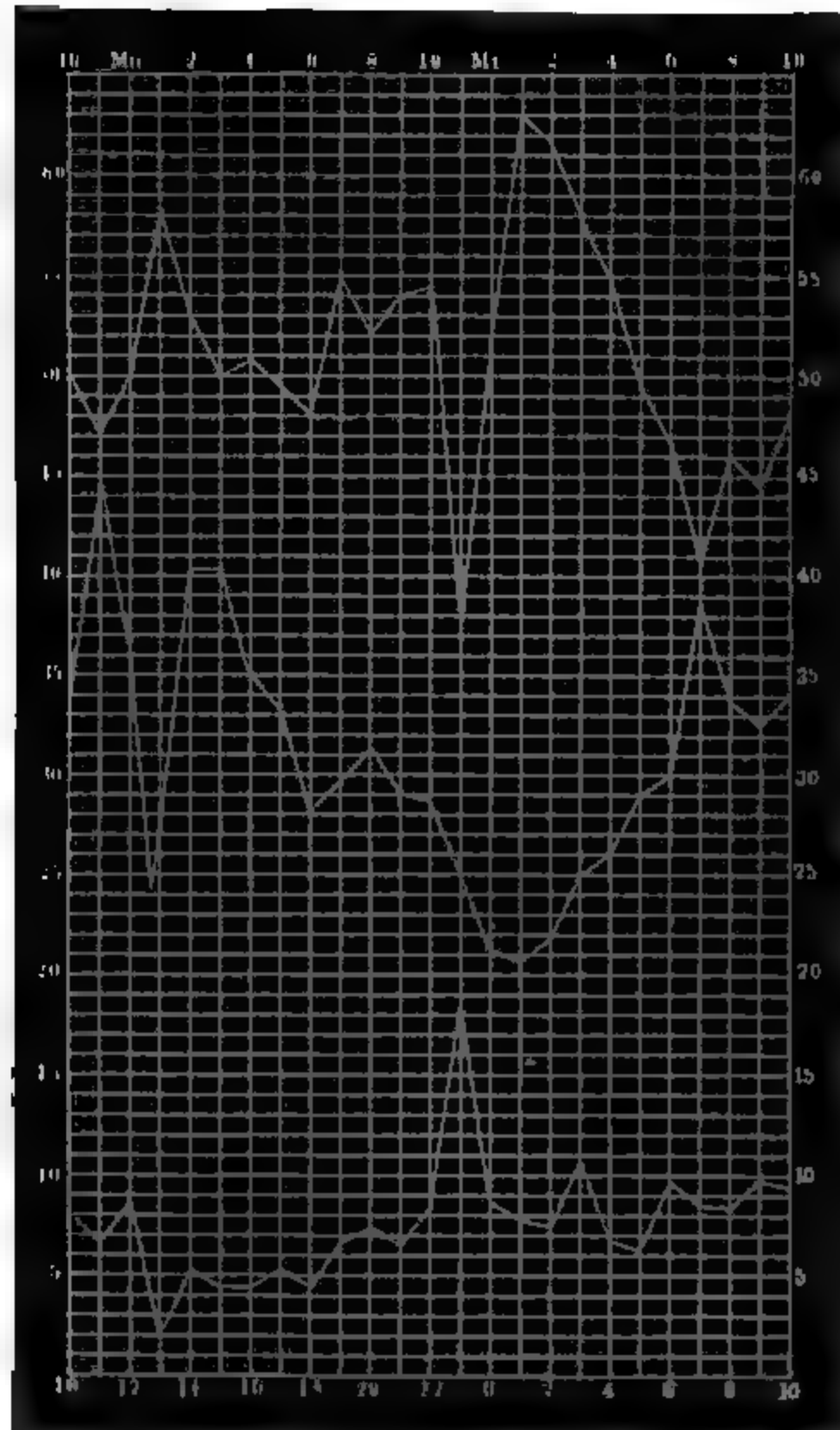
Fig. 2





Tab. 25

Fig. 1.



Terminebeobachtungen vom 27. und 28. August 1841.

